GPA-210 Éléments de fabrication mécanique

PLAN DE COURS (ÉTÉ 2013)	
1 - 29/04	Lecture de dessins selon les normes ISO-ANSI (rappel)
2 - 6/05	**Procédés d'usinage**
3 - 13/05	Tolérances dimensionnelles et ajustements
4 - 21/05	Tolérances géométriques – États de surface
5 - 27/05	Cotation fonctionnelle – Tracé
6 - 3/06	Cotation fonctionnelle – Calcul
7 - 10/06	Examen de contrôle
8 - 17/06	Procédés d'obtention des pièces brutes
9 - 26/06	Montages isostatiques
10- 08/07	Transfert de cotes et d'orientations
11- 15/07	Rédaction de gammes d'usinage
12- 22/07	Introduction à la CAO – Modélisation et mises en plan
13- 29/07	Rédaction de gammes d'usinage (projet de session)

Plan du chapitre

- Introduction aux procédés par enlèvement de matière
- Usinage
  - Paramètres et génération des copeaux
  - Les procédés et les machines-outils
    - Perçage
    - Fraisage
    - Tournage
    - Brochage
    - Sciage
    - Découpage / Poiçonnage
    - Rectification
    - Électro-érosion
- Conclusion

- En cours de période:
  - Présentation par Stéphane Hébert, technicien en fabrication mécanique.

Procédés par enlèvement de matière – introduction

- Beaucoup de pièces produites par moulage, forgeage, laminage, etc. nécessitent des opérations complémentaires pour être utilisables.

- Procédés par enlèvement de matière :
  - Usinage

- **But :** précision dimensionnelle et géométrique
  - Interchangeabilité

- Il s'agit de bien choisir qu'est-ce qu'on obtient par usinage, ou par moulage, formage, etc.

Procédés par enlèvement de matière – introduction

- **Enlèvement de matière**
  - Par découpage → poinçonnage, cisaillage, laser, jet d'eau abrasif;
  - Par copeaux → usinage (perçage, tournage, fraisage, etc.);
  - Par abrasion → meulage, rectification, rodage, polissage;
  - Non traditionnel → électrique, chimique, optique.
- **Avantages de l'usinage :**
  - Profils internes et externes, impossibles en formage, moulage;
  - Reprise après traitement thermique;
  - Plus économique;
  - Haute précision.
- **Inconvénients :**
  - Perte de matière (copeaux);
  - Demande plus d'énergie et de temps que le formage, le moulage;
    ➔ réduire les opérations d'usinage au maximum.

Usinage : les paramètres

- **But :** générer des surfaces élémentaires;
- Principe : enlèvement du métal sous forme de copeaux.

- Fonctions principales d'une machine-outil :
  - Supporter les outils et les pièces
    ➔ positionnement et maintien
  - Assurer un déplacement entre les outils et les pièces :
    - Mouvement de coupe Mc (vitesse Vc)
    - Mouvement d'avance Ma (vitesse Va)
    - Vc >> Va

- Caractéristiques principales :
  - Espace de travail utile
  - Puissance utile (vitesse, couple)
  - Précision (rigidité de la structure, guidage, stabilité thermique, vibrations, usure …)
  - Coût de fonctionnement

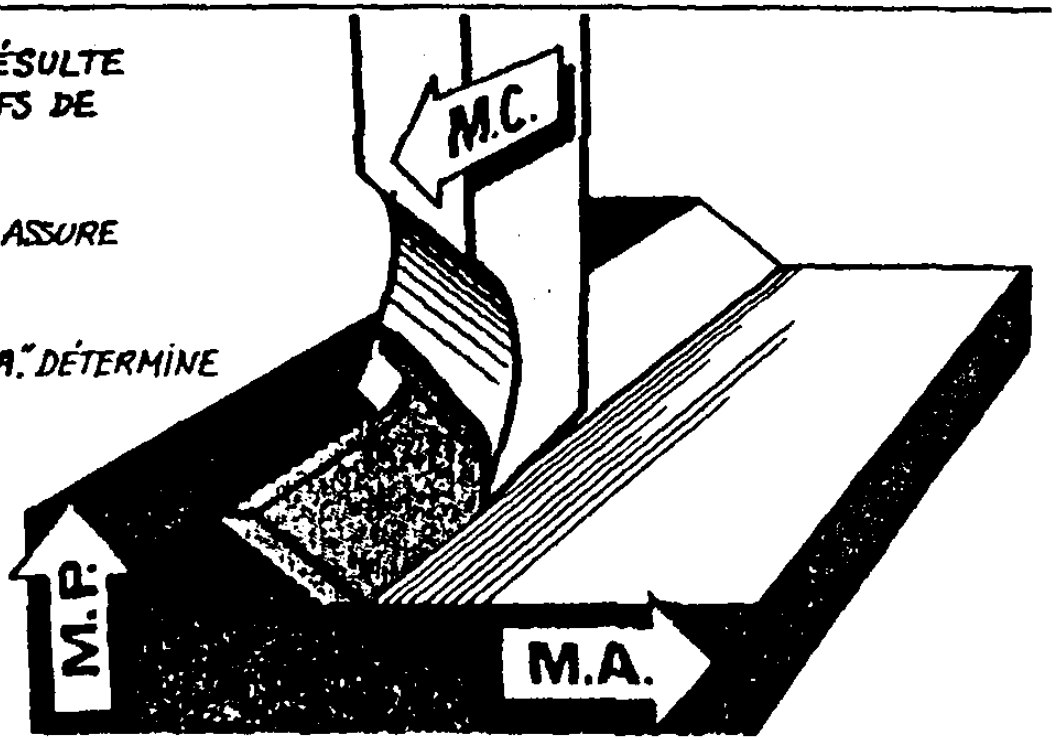
MOUVEMENTS RELATIFS DE LA PIÈCE ET DE L'OUTIL

LA FORMATION DU COPEAU RÉSULTE DES DÉPLACEMENTS RELATIFS DE LA PIÈCE ET DE L'OUTIL.

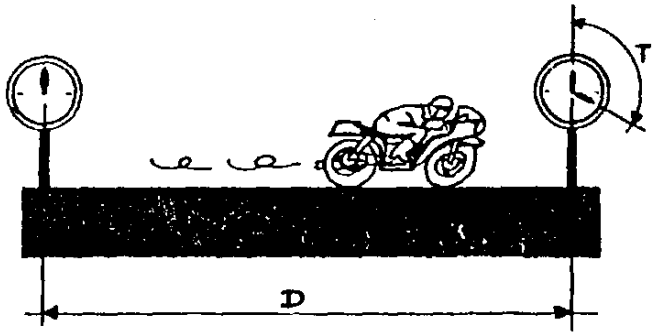
LE MOUVEMENT DE COUPE "MC." ASSURE LE DÉTACHEMENT DU COPEAU.

LE MOUVEMENT D'AVANCE "M.A." DÉTERMINE L'ÉPAISSEUR DU COPEAU "a".

LE MOUVEMENT DE PÉNÉTRATION "M.P." OU "SERRAGE", DÉTERMINE LA PROFONDEUR DE PASSE "p".

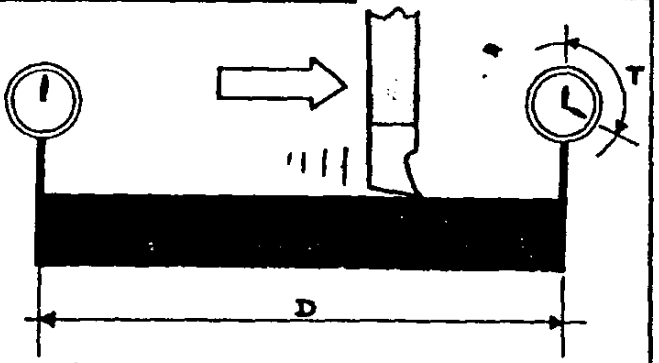


VITESSE DE COUPE DE L'OUTIL



LA VITESSE D'UN VÉHICULE EST LE RAPPORT ENTRE LA **DISTANCE** QU'IL PARCOURT (**D**), ET LE **TEMPS** QU'IL MET À PARCOURIR CETTE DISTANCE. (**T**)

$$\text{VITESSE EN MÈTRE/MINUTE} = \frac{\text{DISTANCE EN MÈTRE}}{\text{TEMPS EN MINUTE.}}$$

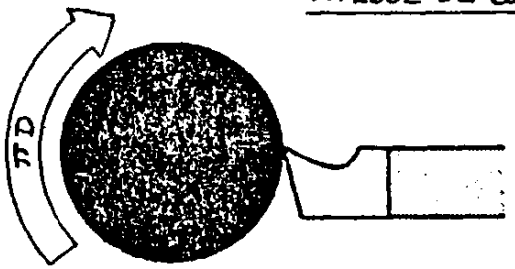


LA VITESSE DE COUPE: C'EST LA VITESSE RELATIVE DE DÉPLACEMENT DE LA PIÈCE ET DE L'OUTIL EN UN POINT DONNÉ DU CONTACT OUTIL-PIÈCE.

CETTE VITESSE S'EXPRIME EN MÈTRE PAR MINUTE

$$VC = \frac{\text{DÉPLACEMENT (en mètre)}}{\text{TEMPS (minute)}}$$

VITESSE DE COUPE D'UN OUTIL DE TOURNAGE.

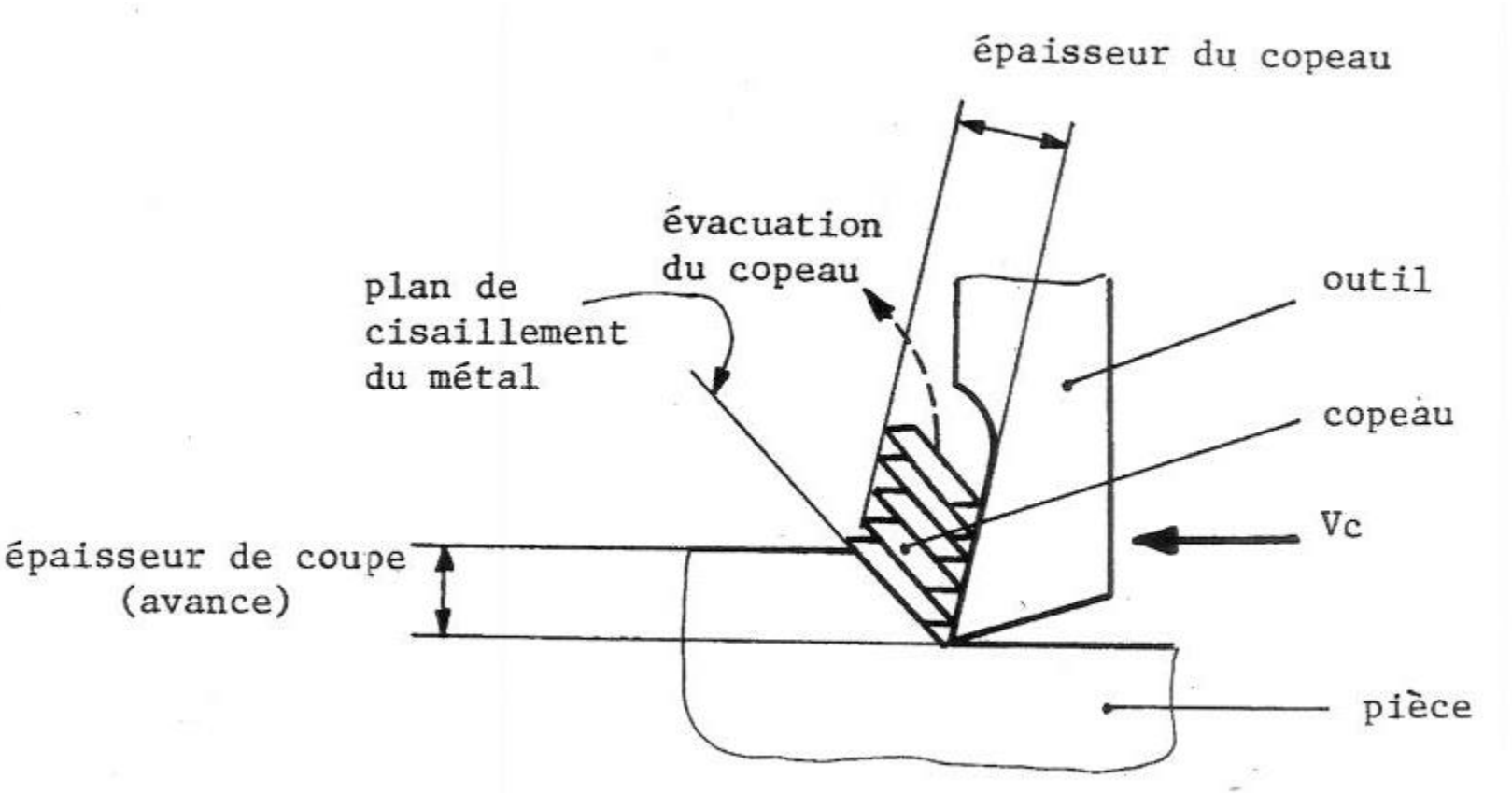


D = DIAMÈTRE DE LA PIÈCE EN mm.
N = VITESSE DE ROTATION EN TOURS PAR MINUTE.
VC = VITESSE DE COUPE EN MÈTRE/MINUTE.

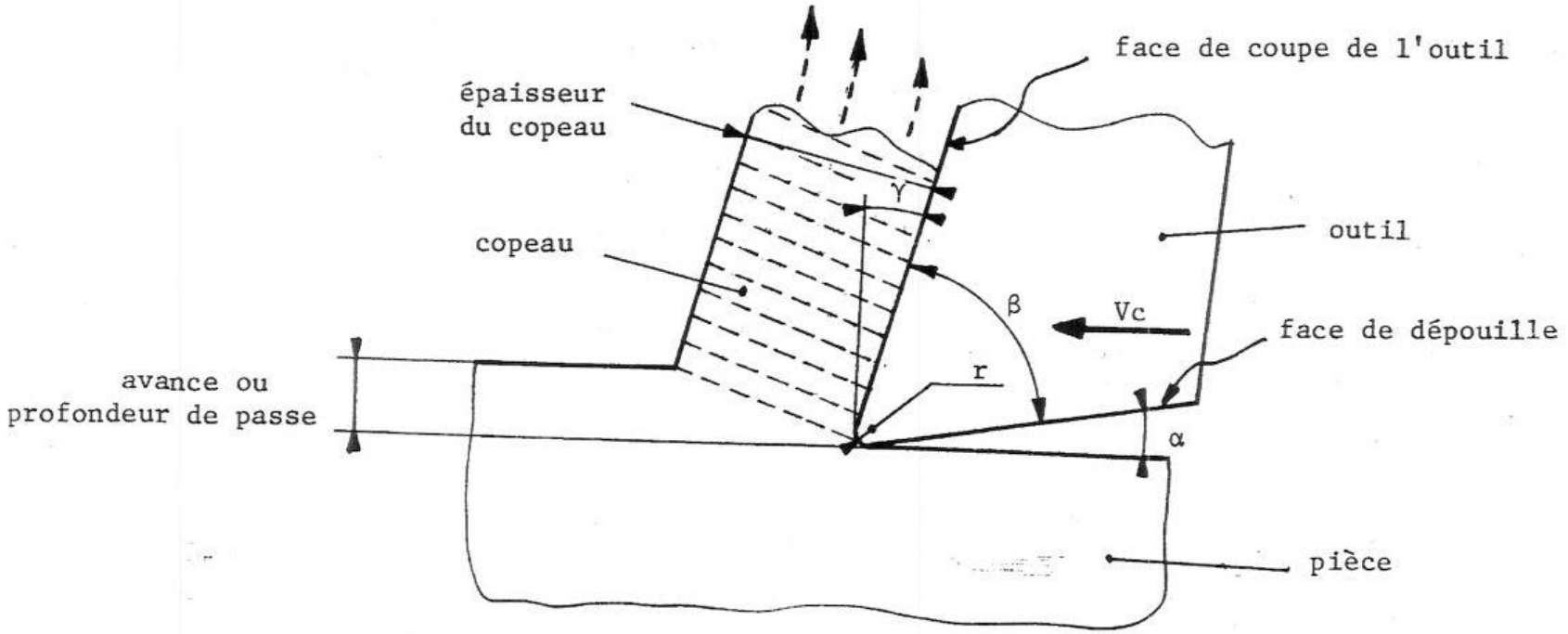
- CHAQUE FOIS QUE LA PIÈCE FAIT UN TOUR, LE DÉPLACEMENT DE L'OUTIL, PAR RAPPORT À LA PIÈCE, EST ÉGAL À LA CIRCONFÉRENCE: $\pi \times D$ ($\pi = 3{,}14$)
- SI LA PIÈCE TOURNE DE "N" TOURS PAR MINUTE LE DÉPLACEMENT EN UNE MINUTE SERA: "N" FOIS LA CIRCONFÉRENCE ($\pi \times D \times N$)
- POUR OBTENIR CETTE DISTANCE EN MÈTRES, IL FAUT LA DIVISER PAR 1000, CAR LE DIAMÈTRE DE LA PIÈCE EST DONNÉ EN mm. (1 mètre correspond à 1000 millimètres)

LA VITESSE DE COUPE DEVIENT = $\boxed{VC = \frac{\pi D N}{1000}}$

Usinage : les paramètres

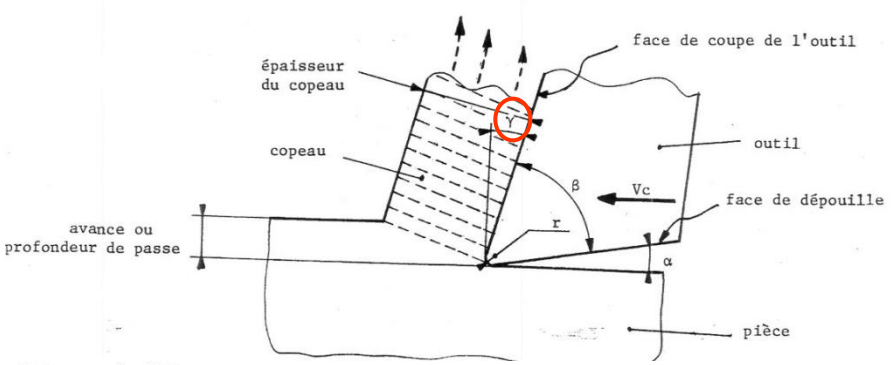


Usinage : les paramètres



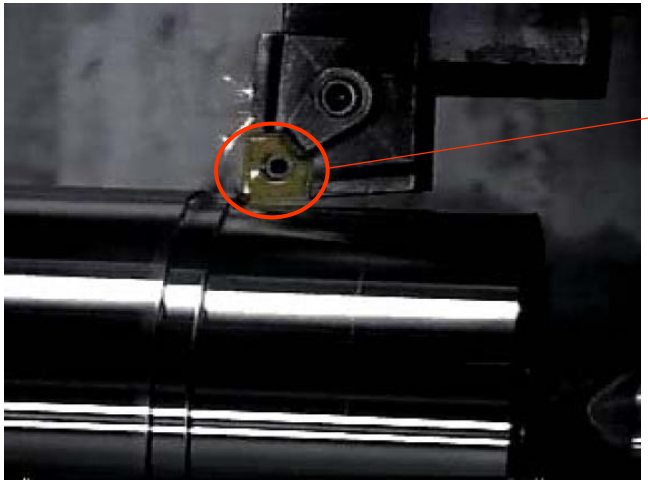
Usinage : les paramètres

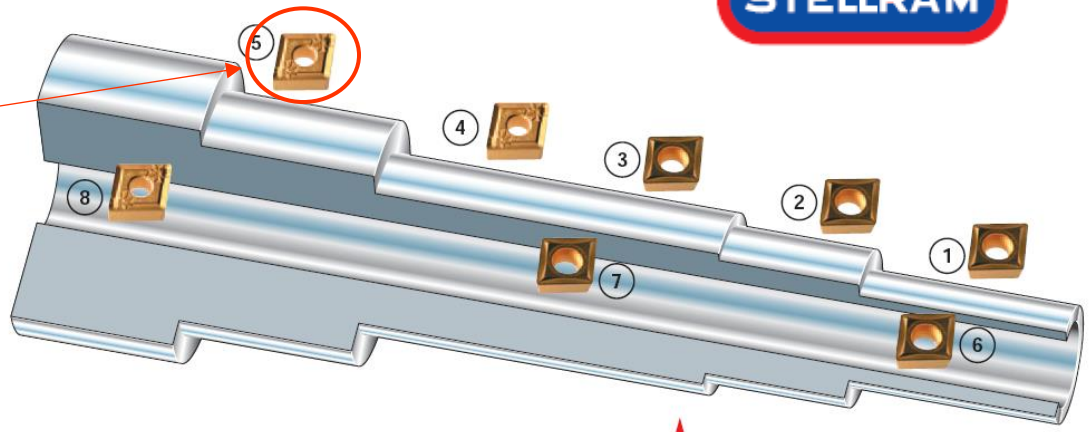
- Influence de l'angle de coupe γ :
  - Avantages de γ Négatif : Améliore la résistance de l'arête de coupe
  - Inconvénients de γ Négatif : augmente les forces de coupe → déformation de la pièce lorsque l'épaisseur de matière est faible



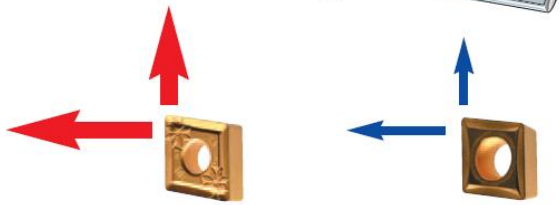
γ Négatif ou Positif

(source : Catalogue Stellram pour les outils de tournage)





Dans les mêmes conditions d'usinage, l'une des différences importantes entre les plaquettes positives et négatives est constituée par les efforts de coupe générés.



Efforts avec plaquettes négatives - Efforts avec plaquettes positives

Usinage : les paramètres

- La profondeur de passe est limitée par :

- Limite supérieure :
  - La puissance de la machine-outil
  - La rigidité de la pièce et de l'outil (efforts de coupe)
  - Autres : nature du matériau à usiner, géométrie de l'outil

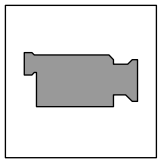
- Limite inférieure (copeau minimum) :
  - Finesse de l'arête tranchante (r)
  - La forme du bec de l'outil γ, β
  - Autres : nature du matériau à usiner et l'état de la machine

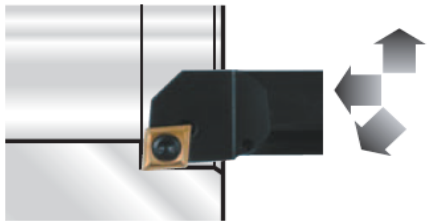
- Valeurs données par le fournisseur des outils de coupe : voir catalogues ou site web.

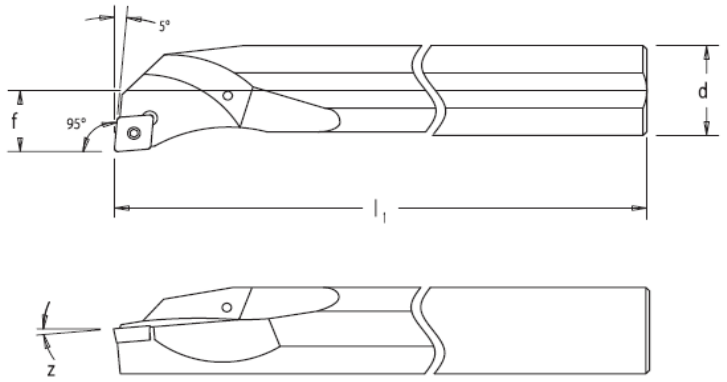
Usinage : les paramètres

- Tableau page 146 des notes de cours

Matériau d'outil	Vitesse de coupe en m/min (pi/min)
Aciers au carbone	18 (60)
Aciers rapides	30 (100)
Carbures	90 (300)
Céramiques	150 (500)
Céramiques avec revêtement de surface	210 (700)



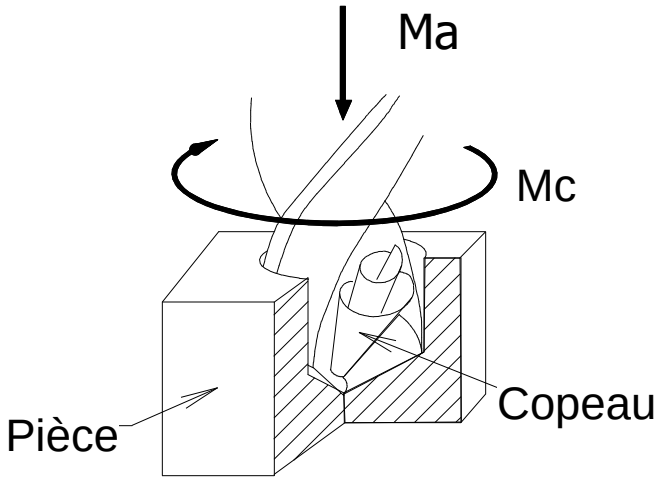






Usinage : Perçage

- Les perceuses :
  - Mc : mouvement de rotation de l'outil
  - Ma : mouvement linéaire de l'outil



Calcul des vitesses de coupe : page 155 :

Matériau à usiner	Vitesse de coupe m/min (pi/min)
Aluminium	90 (300)
Bronze	30 (90)
Fonte	20 (60)
Cuivre	25 (80)
Acier doux	45 (150)
Acier mi-dur	30 (100)
Acier dur	20 (60)

Avance de coupe : page 157 :

0.05 mm/tour pour un diamètre de 4 mm

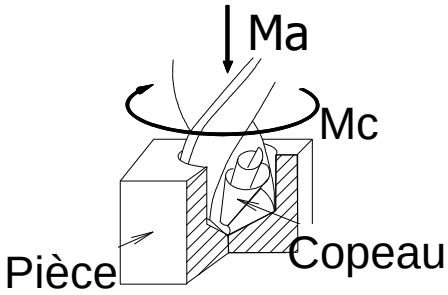
0.2 mm/tour pour un diamètre de 12 mm

0.3 mm/tour pour un diamètre de 20 mm

0.5 mm/tour pour un diamètre de 30 mm

Usinage : Perçage

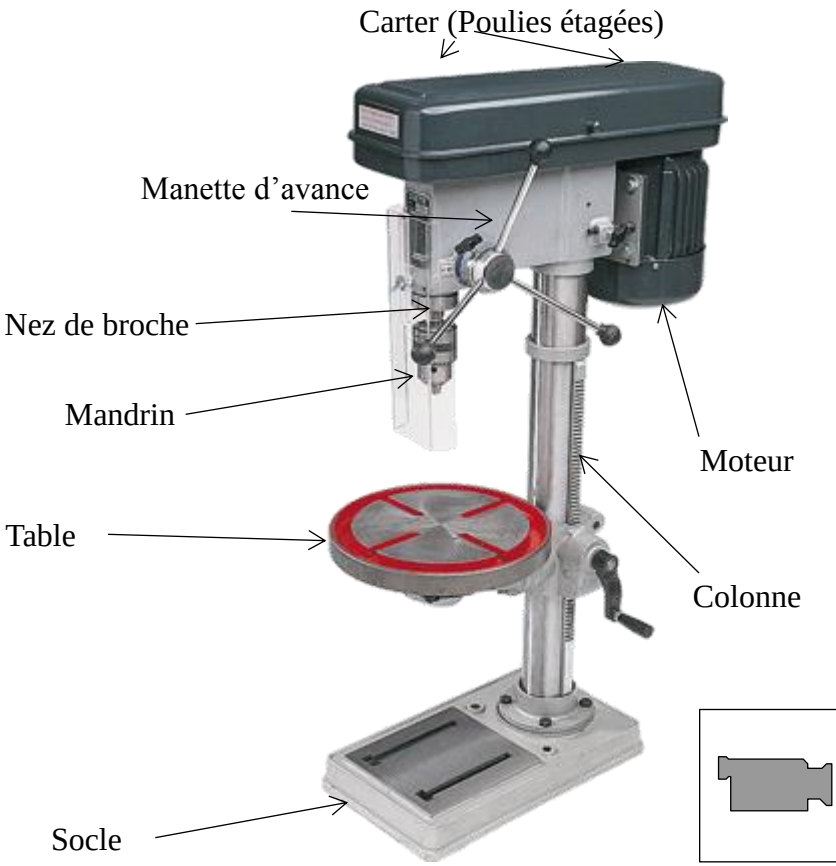
- Genres :
  - **Sensitive** : le mouvement d'avance (Ma) est contrôlé manuellement
  - **À colonne** : plus puissante et performante, pour pièces de grandes dimensions (grande hauteur de colonne)
  - **À têtes multiples** : tout sur un bâti
  - **Radiale** : pour pièces volumineuses
  - **Multibroches** : jusqu'à 20 outils simultanés

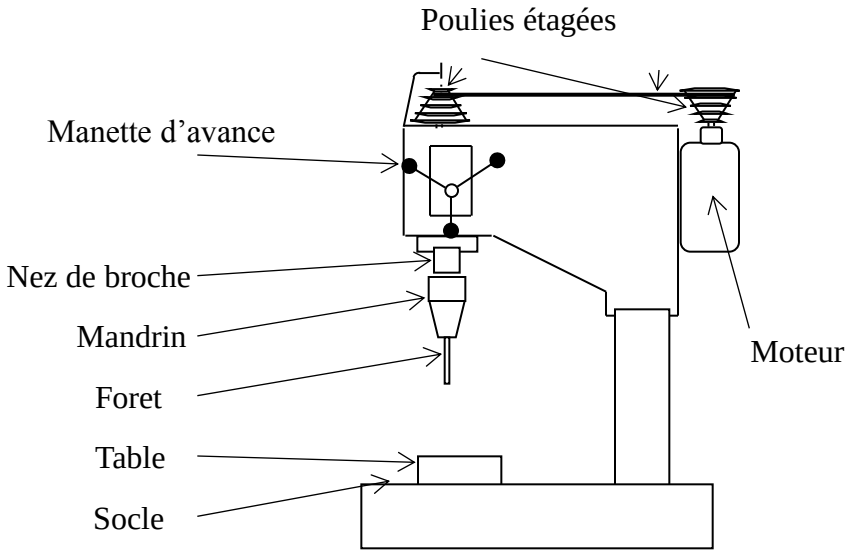


- Caractéristiques :
  - Machine de base : simple, pas chère
  - Pour surface de révolution : perçage, lamage, chanfrein, taraudage, finition à l'alésoir, chambrage
  - Précision moyenne (qualité 10-11 ISO)

Usinage : la perceuse sensitive

- Perceuse sensitive d'établi, Avance manuelle





Perceuse sensitive

http://www2.cslaval.qc.ca/star/IMG/mov/841-h.mov

Usinage : la perceuse à colonne

- Utilisable pour des pièces de grandes dimensions, grâce à la grande hauteur de colonne



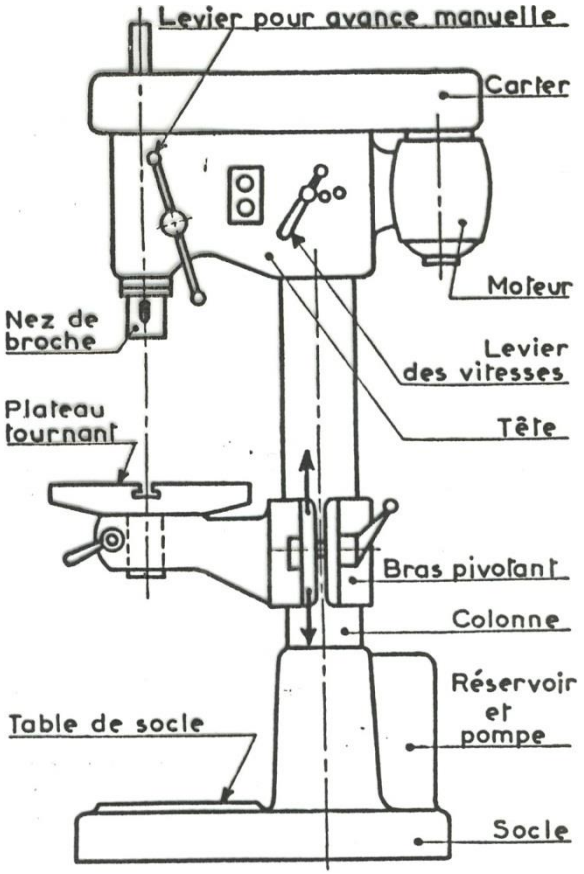
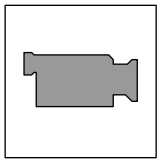


Fig:121- Perceuse à colonne.

Usinage : la perceuse radiale

- Pour pièces de grandes dimensions
- La broche est montée sur un chariot coulissant le long d'un bras pouvant pivoter avec la colonne comme axe.
- Avance automatique



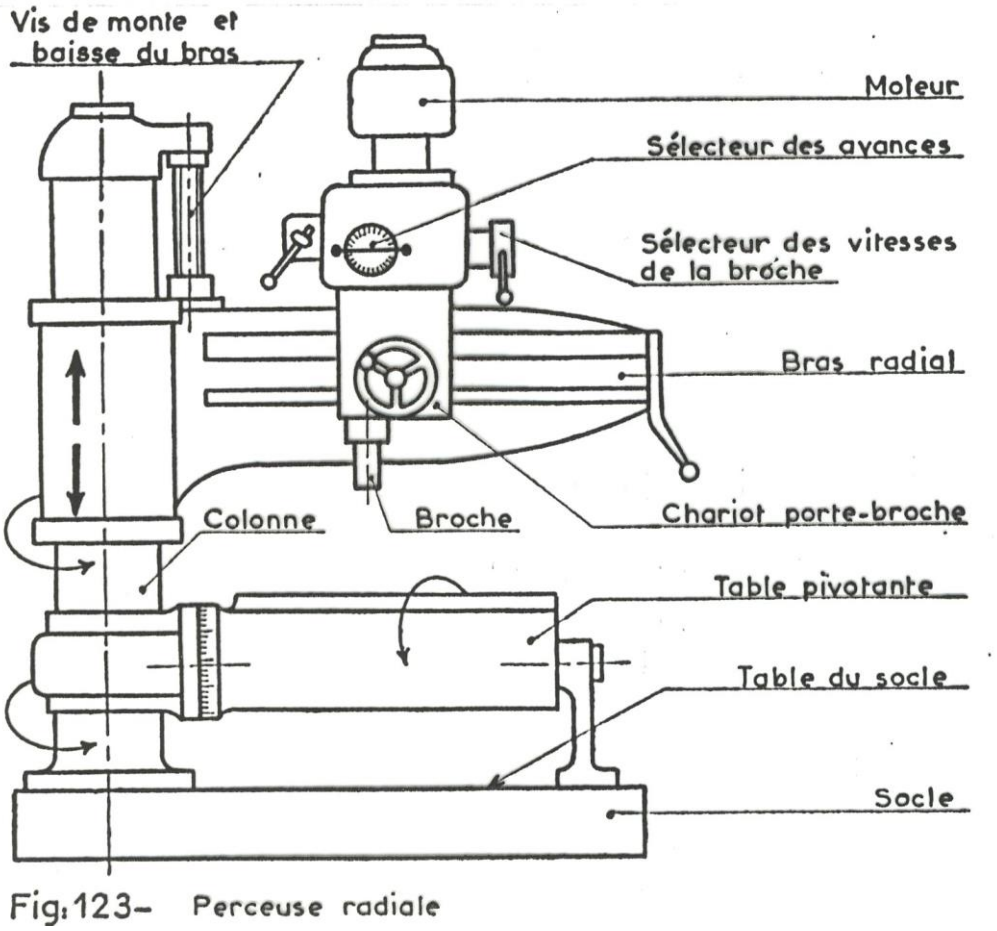
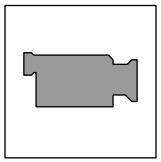


Fig. 123– Perceuse radiale

Usinage : la perceuse multibroches

- Travaux de petite série;
- Pièces avec un grand nombre de trous par face.



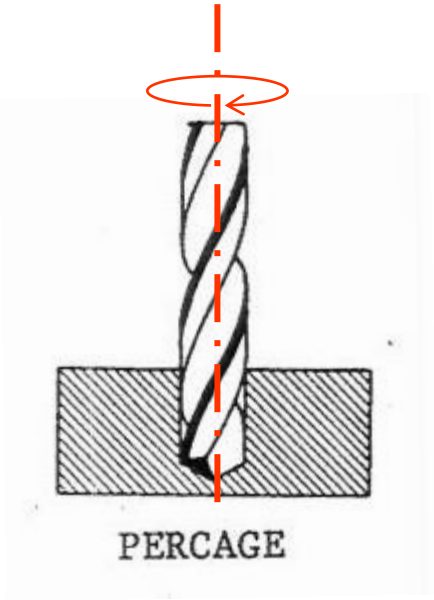


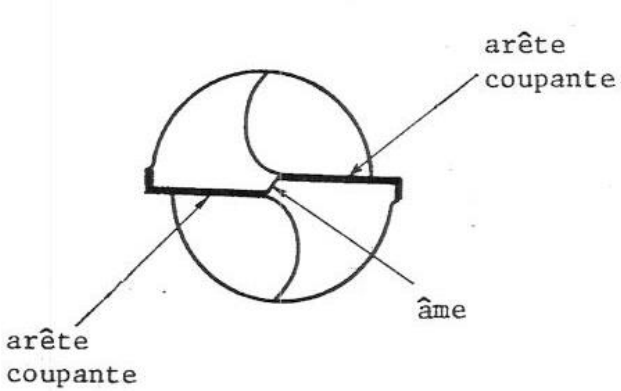
Perceuse multibroches

http://www.youtube.com/watch?v=yocJ7ZISres

Usinage : Outils et opérations de perçage

- Perçage avec forêt (*drilling*)
  - But: retirer beaucoup de matière à la pièce;
  - Outil: Forêt hélicoïdale en acier rapide…
    - Deux arêtes coupantes diamétralement opposées;
    - Âme: extrémité non-coupante;
    - Non-conseillé de percer un trou > Ø12mm sans avoir percé un avant-trou de diamètre inférieur.

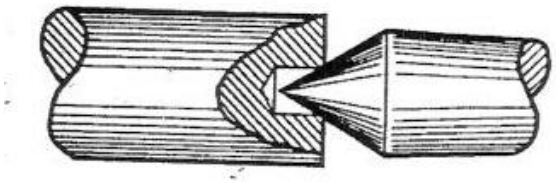




Usinage : Outils et opérations de perçage

- Perçage de centrage
  - But: amorcer un trou, localiser son axe;
  - Outil: Forêt à centrer;
  - 2 types d'utilisation:
    - Pour percer un trou avant de tourner une pièce dans un tour à contre-pointe.

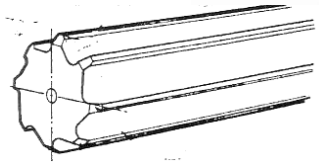


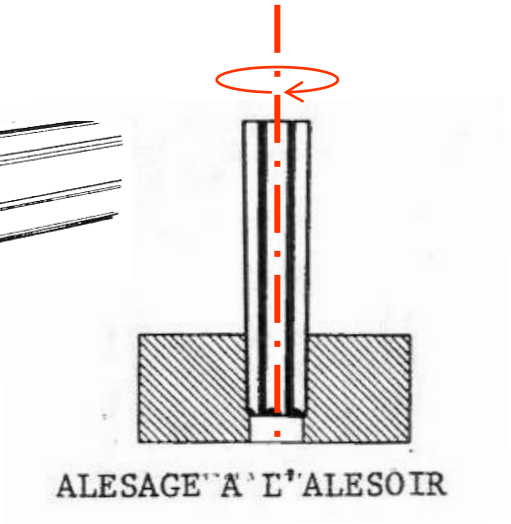


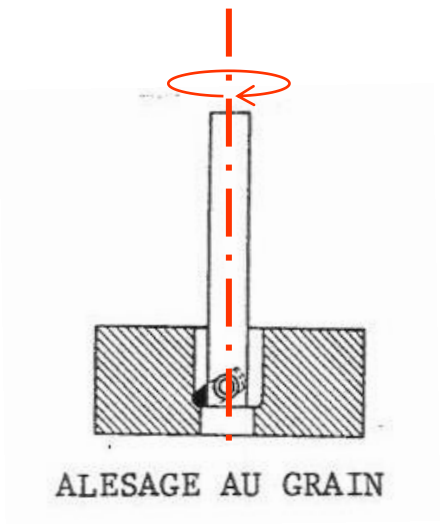
    - Pour percer un trou de centrage afin de guider le perçage d'un trou de diamètre important; exposer les arêtes coupantes d'un forêt à de la matière.

Usinage : Outils et opérations de perçage

- Alésage (*boring*, *reaming*)
  - But: Retirer un mince copeau afin de terminer le trou à une cote et un état de surface rigoureux;
  - Outils:
    - Alésoir (*reaming*):
      Pour des diamètres standards.
    - Barre à aléser (*boring*):
      Pour des diamètres non-standards.

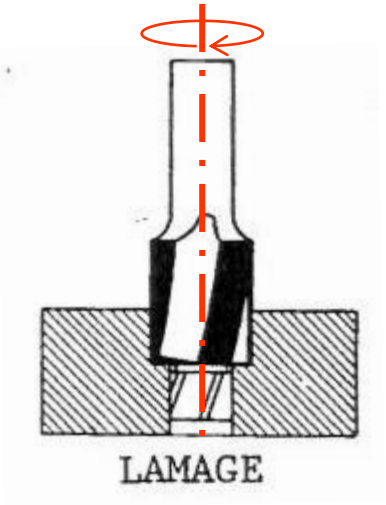


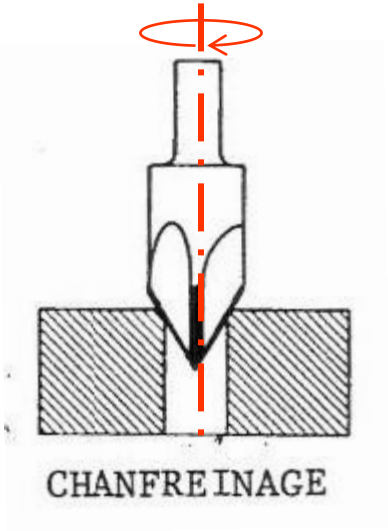




Usinage : Outils et opérations de perçage

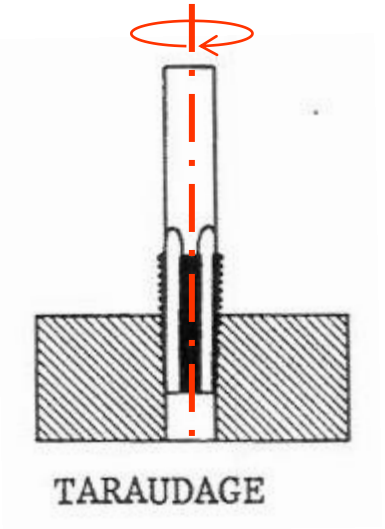
- Lamage (*spot facing*)
  - Surfaçage d'une pièce pour permettre un bon appui à un boulon;
  - Profondeur usinée faible;
  - L'outil à lamer possède un pilote interchangeable assurant la guidage axial de l'outil p/r au trou.
- Chambrage (*counterboring*)
  - Équivalent au lamage, mais de bonne profondeur afin d'y dissimuler la tête d'un boulon.
- Chanfreinage (*chamfering*)
  - Usinage d'un surface conique visant à:
    - Ébavurer les bords d'un trou percé ou alésé;
    - Usiner l'appui conique devant recevoir une tête de vis.

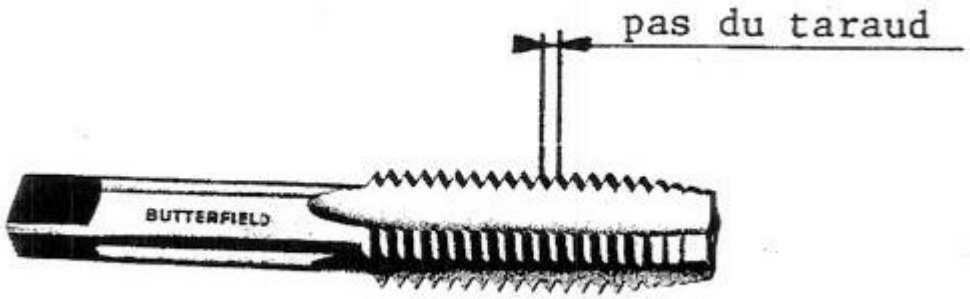




Usinage : Outils et opérations de perçage

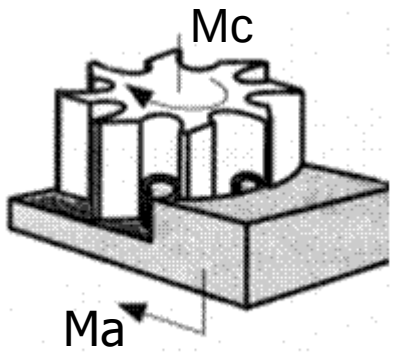
- Taraudage (*tapping*)
  - Réalise des filetages intérieurs;
  - Le taraud tourne lentement et l'avance par tour est imposé par le pas, caractéristique même de l'outil.





Usinage : Fraisage

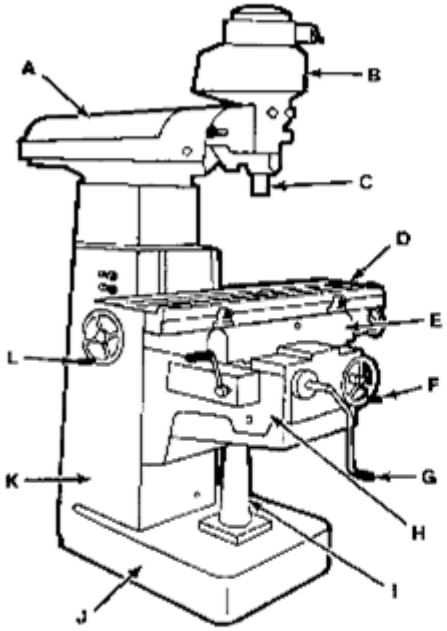
- Fraiseuse d'outillage à tête universelle:
  - Mc : mouvement de rotation de l'outil
  - Ma : mouvement linéaire et/ou rotatif de l'outil et/ou de la pièce
- Genres:
  - Verticale
  - Horizontale
  - 4 axes, 5 axes
  - Spéciale : duplex, fraiseuse-raboteuse



- Caractéristiques :
  - Permet des travaux extrêmement variés
  - Capacité variable, mais pas pour des très grandes pièces
  - Bonne précision (qualité 7-8 ISO)
  - Usinage de plusieurs surfaces simultanément (train de fraises)
  - Possibilité de reproduction
  - Automatisation de cycle (carré, cubique)

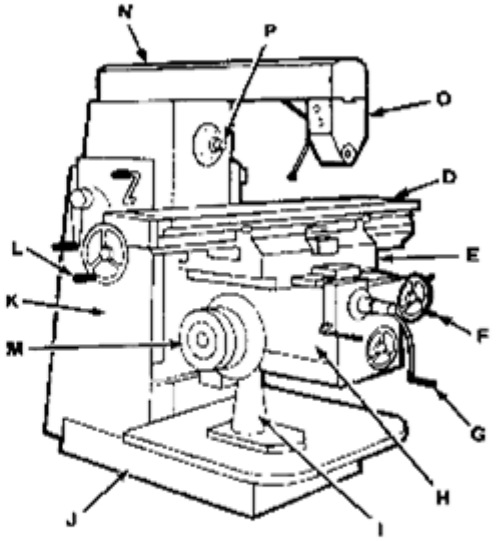
Usinage : Fraiseuse horizontales et verticales

VERTICALE



A COULISSEAU
B TÊTE DE FRAISAGE VERTICAL
C CANON DE BROCHE
D TABLE
E BANC TRANSVERSAL
F POIGNÉE D'AVANCE TRANSVERSALE
G POIGNÉE D'AVANCE VERTICALE
H SEMELLE
I VIS D'AVANCE VERTICALE

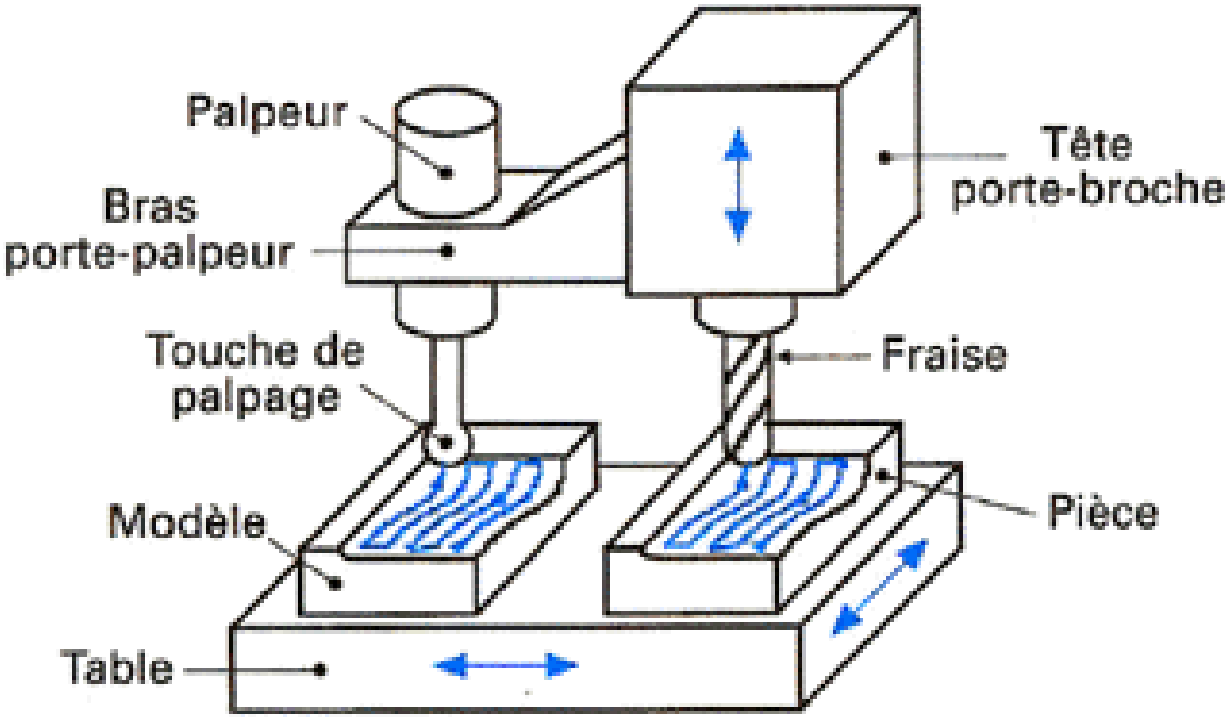
HORIZONTALE



J BASE OU SOCLE
K COLONNE
L POIGNÉE D'AVANCE LONGITUDINALE
M TRANSMISSION D'AVANCE VERTICALE
N POTENCE
O SUPPORT D'ARBRE
P BROCHE

Usinage : fraiseuses

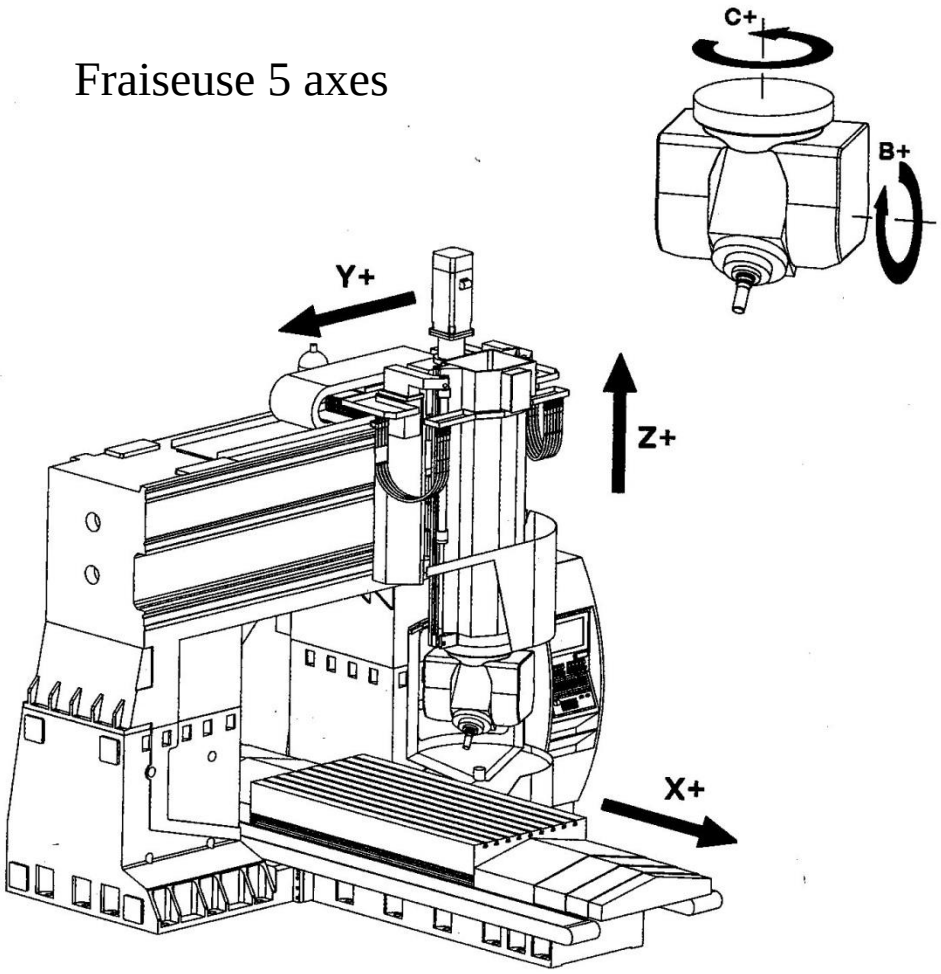
- Fraisage par reproduction :



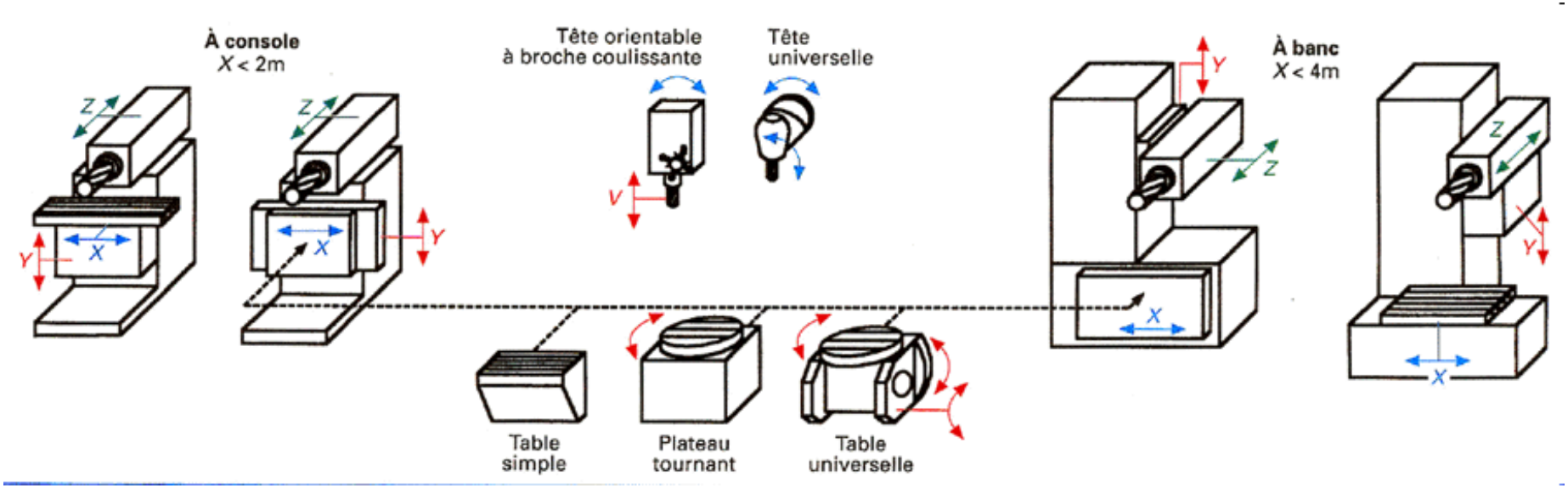
Usinage : fraiseuses

- Fraiseuses 4 axes
  - 3 translations x,y,z
  - 1 rotation
- Fraiseuses 5 axes
  - 3 translations x,y,z
  - 2 rotations
- Pour pièces complexes
- Commandes numériques

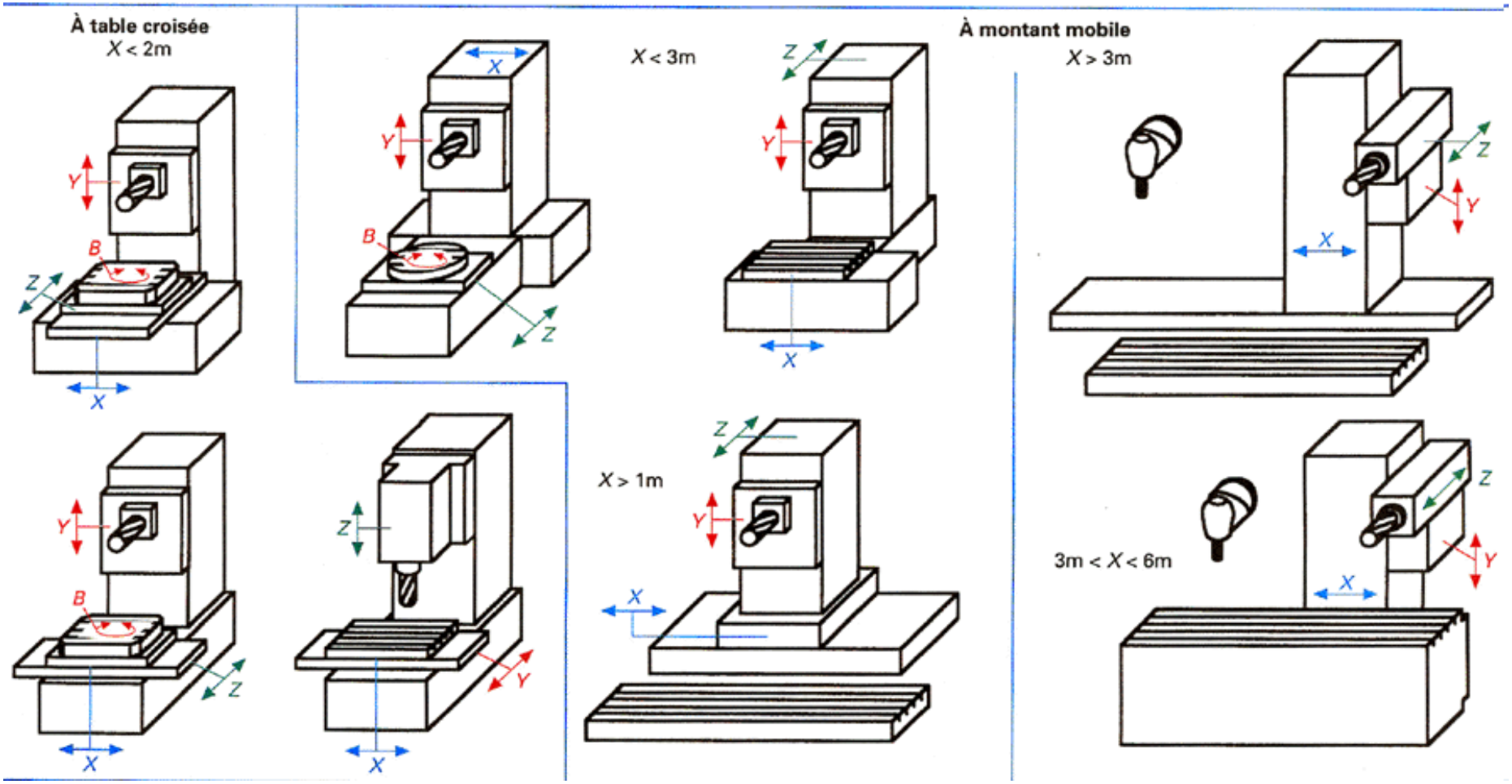
Fraiseuse 5 axes



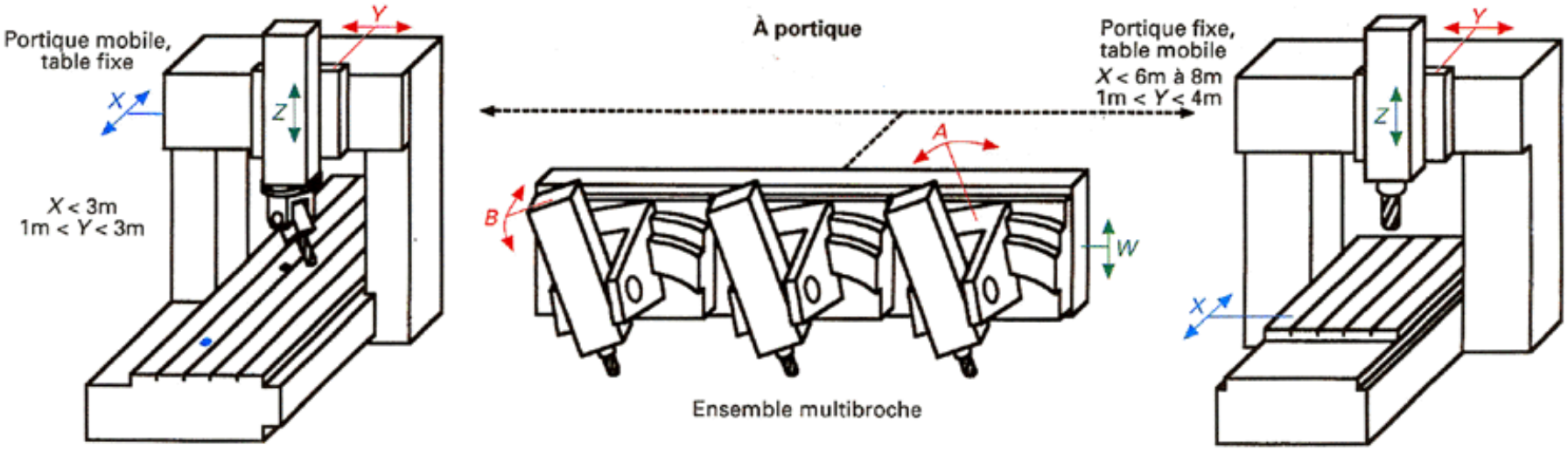
Usinage : fraiseuses



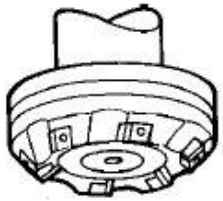
Usinage : fraiseuses



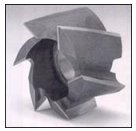
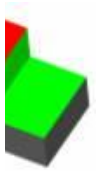
Usinage : fraiseuses



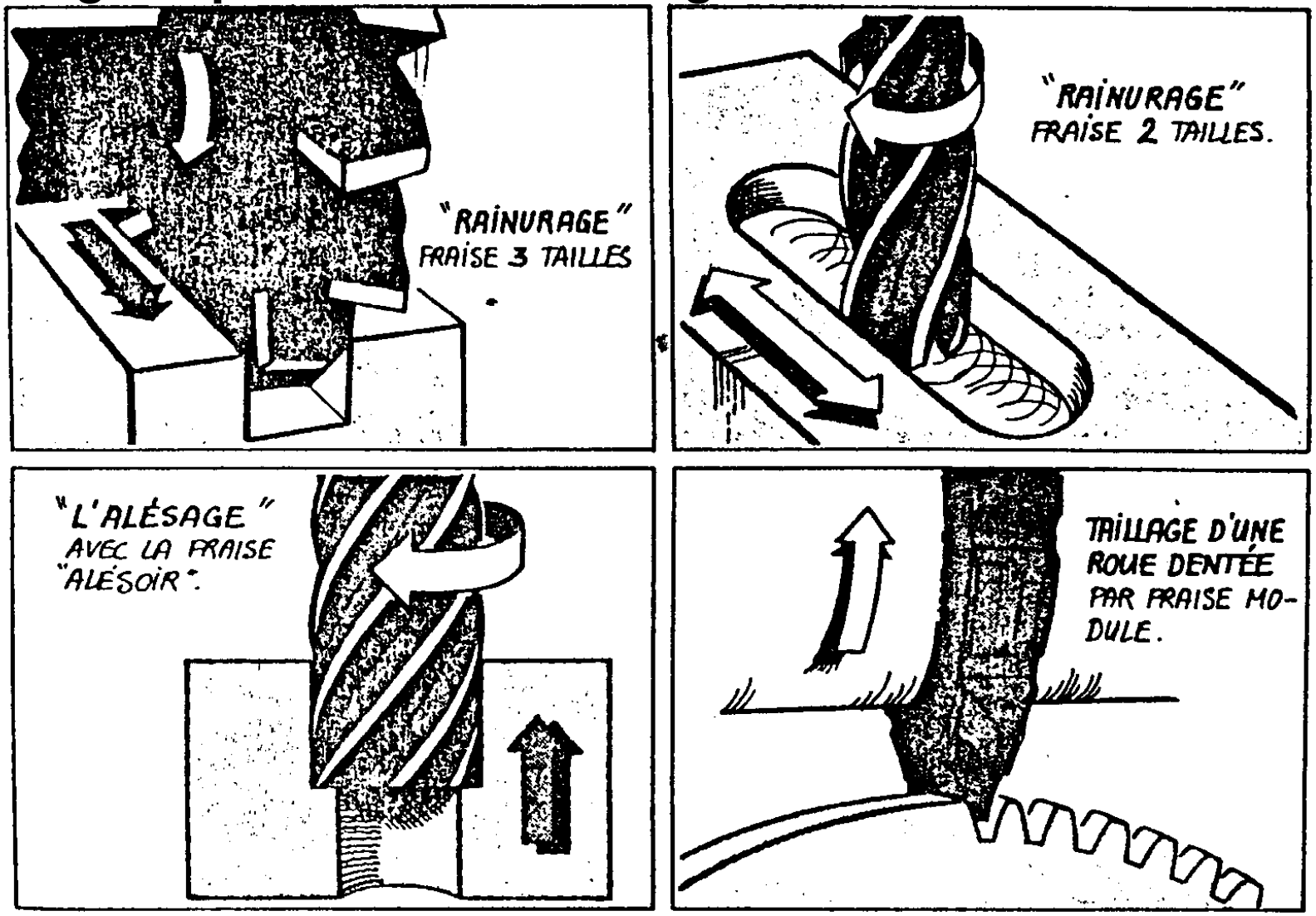
Usinage: Outils de fraisage

Fraise en bout	Fraise à surfacer	Fraise à chamfreiner	Fraise en bout sphérique	Fraise scie (disque)
				
2 tailles	**2 tailles**		**2 tailles**	**3 tailles**

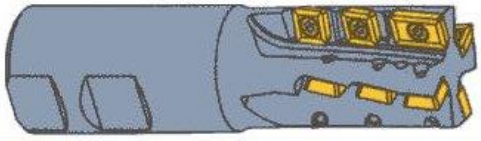
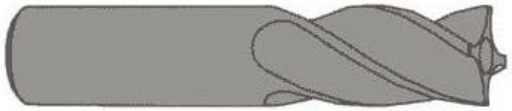
Usinage: Opérations de fraisage

	Opération	Outil typique
	**Surfaçage** Le surfaçage c'est l'usinage d'un plan par une fraise.	 Fraise à surfacer  Fraise coquille
	**Plans épaulés** C'est l'association de 2 plans perpendiculaires	 Fraise en bout
	**Rainure** C'est l'association de 3 plans. Le fond est perpendiculaire au deux autres plans.	  Fraise en bout Fraise disque
	**Poche** La poche est délimitée par des surfaces verticales quelconque (cylindre et plan). C'est une forme creuse dans la pièce.	 Fraise en bout

Usinage: Opérations de fraisage



Usinage: Outils de fraisage

Type	Avantages	Inconvénients
Plaquettes 	Vitesse de coupe maximale	Coût initial élevé
	Pas besoin de réaffûter	Moins de lèvres
	Rayon de coin précis	Demande plus de puissance et rigidité
Carbure taillé dans la masse 	Rigidité (contrôle de la déflection latérale)	Coût élevé
	Vitesse de coupe élevée	Coûteux à réaffûter
	Longue durée de vie	Diamètre change après lorsque réaffûter
Acier rapide (HSS) 	Versatilité	Diamètre change après lorsque réaffûter
	Economique	Vitesse de coupe limitée
	Réaffûtage économique	Moins rigide



Contrôle numérique des machines outils

Usinage d'une jante de roue

Usinage : Tournage

- Mc : mouvement de rotation pièce
- Va : mouvement d'avance linéaire de l'outil

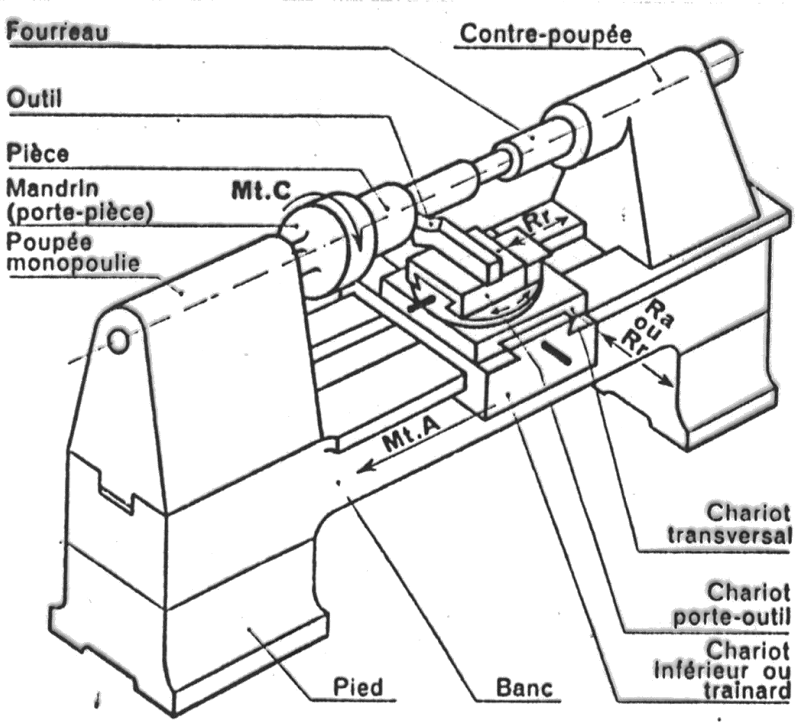
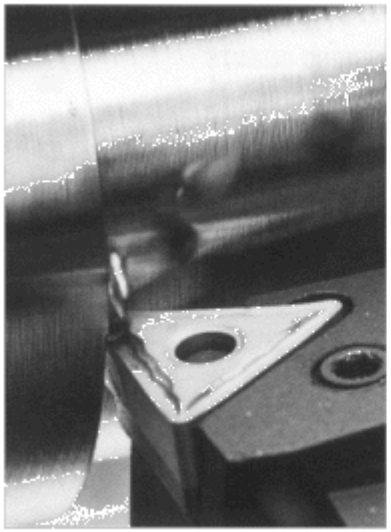
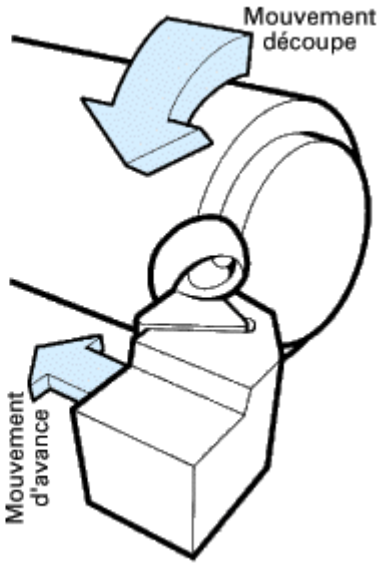


Fig. : 211 — Tour parallèle — Éléments constitutifs fonctionnels

Tournage avec outil à arête unique





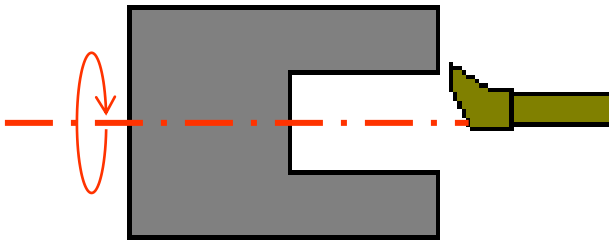
Usinage : Tournage

- Genres :
  - Tour parallèle (d'outilleur)
  - Tour révolver (plusieurs outils, (semi-)automatique)
  - Tour à reproduire : pour surface de révolution à génératrice spéciale
  - Tour verticale : pour pièces volumineuse
  - Tour multibroche

- Caractéristiques
  - Toute surface de révolution
  - Surfaces usinées intérieures/extérieures
  - Filetage et taraudage
  - Capacité variable (passage sur banc – distance entre points)
  - Bonne précision (qualité 6-7 ISO)
  - Machine de production économique

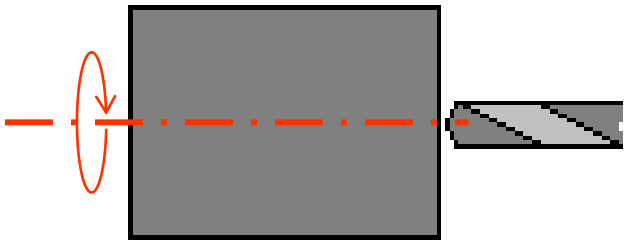
Usinage : Opérations en tournage

- Usinage de formes
  - Alésage (*boring*)
    - Opération consistant à agrandir, au moyen d'un outil (barre) à aléser, un trou préalablement exécuté pour en parfaire la forme et le rendre propre à un ajustement de précision.

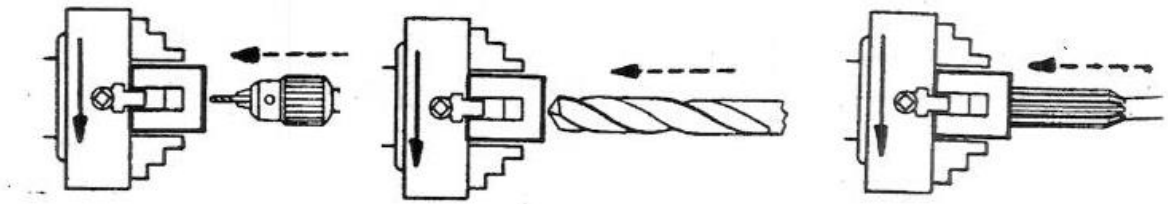


Usinage : Opérations en tournage

- Usinage de formes
  - Perçage (*drilling*)
    - Des travaux de perçage concentriques à l'axe de la broche peuvent également être exécutés sur le tour.

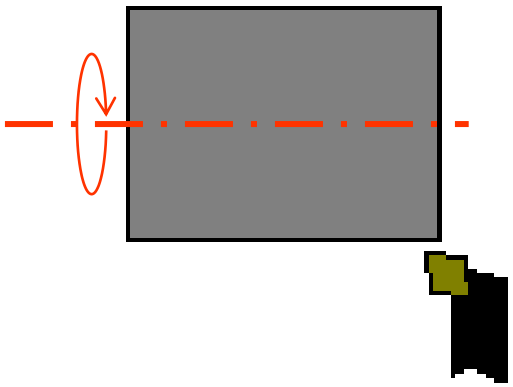


    - Tout outil rotatif de coupe peut être utilisé (forêt à centrer, forêt, alésoir (*reaming*), fraise 2 tailles, etc.)



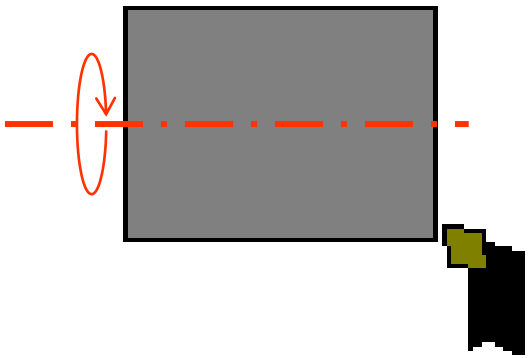
Usinage : Opérations en tournage

- Usinage de formes
  - Dressage ou surfaçage (*facing*)
    - Opération consistant à produire une surface plane par déplacement d'un outil perpendiculairement à l'axe du tour.



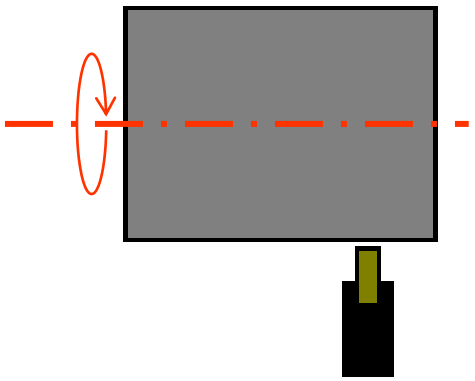
Usinage : Opérations en tournage

- Usinage de formes
  - Chariotage (*turning*)
    - Opération de tournage pendant laquelle l'outil se déplace parallèlement à l'axe de rotation de la pièce à usiner.



Usinage : Opérations en tournage

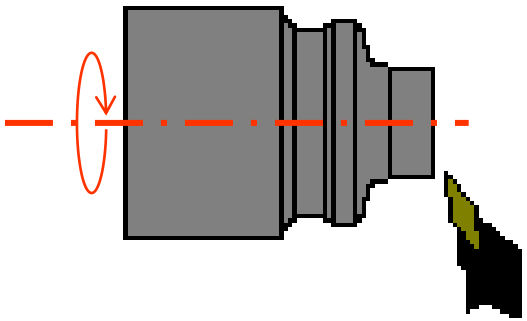
- Usinage de formes
  - Défoncage (*grooving*)
    - Crée une **rainure** ou un **embrèvement** à l'aide d'un outil dont la taille et la forme sont celles de la rainure usinée.



    - Certains outils de défonçage peuvent être utilisés afin d'élargir une rainure et obtenir une **gorge** en se déplaçant parallèlement à l'axe de rotation après avoir pénétré dans la pièce.

Usinage : Opérations en tournage

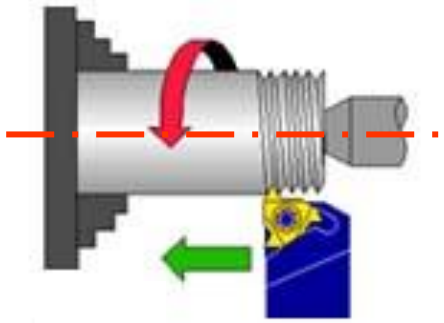
- Usinage de formes
  - Copiage ou tournage de profil (*profiling*)
    - Était réalisé anciennement en utilisant un outil à pointe unique traçant le contour désiré d'un modèle à reproduire.



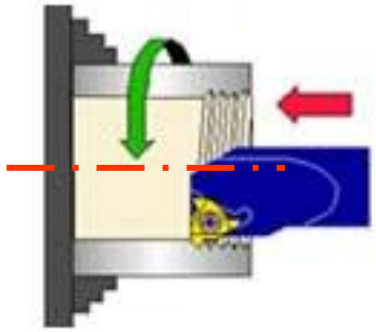
    - Cette technique est maintenant remplacée par le tournage par contrôle numérique où le profil désiré est programmé dans la machine-outil qui dirige le parcours de l'outil sur la pièce.

Usinage : Opérations en tournage

- Usinage de formes
  - Filetage (*threading*)
    - Usinage en une ou en plusieurs passes d'un filet avec un outil de tour dont le profil correspond à celui du filet recherché.



Filetage externe



Filetage interne (taraud)

    - La vitesse de rotation de la pièce et l'avance de l'outil sont programmés simultanément à partir du **pas** du filet/taraud.

Usinage : les tours

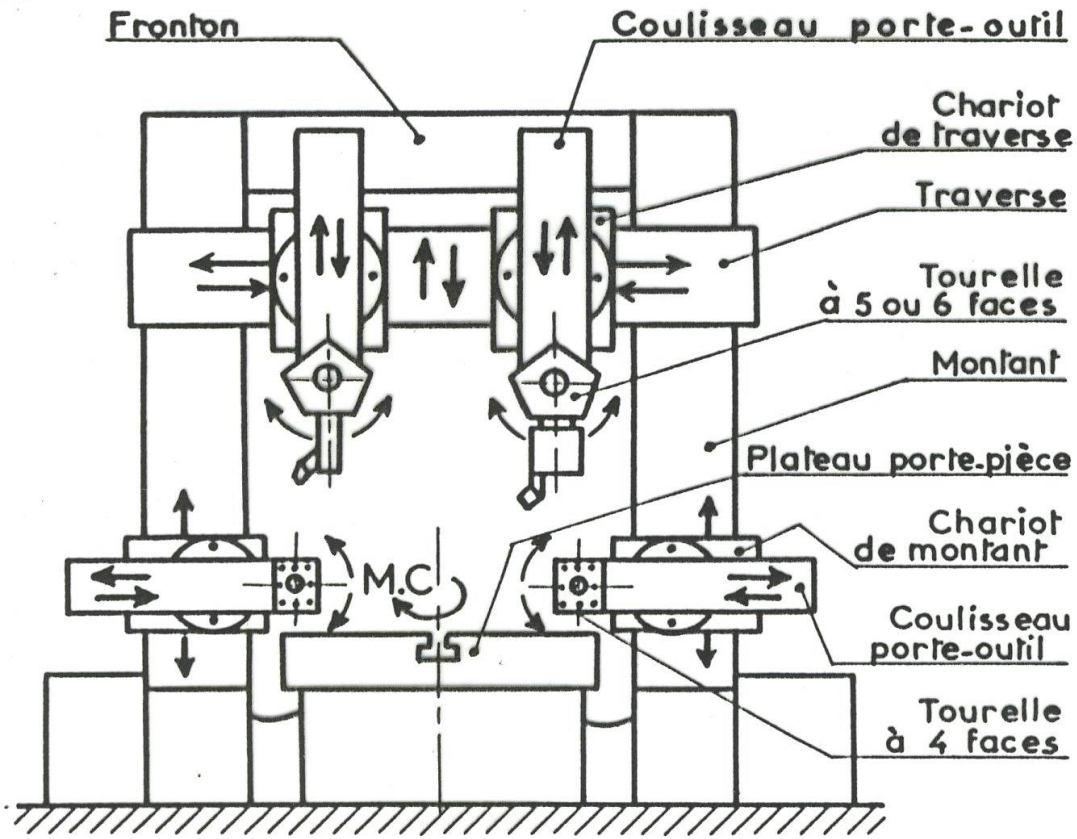
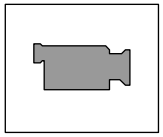
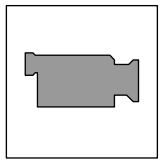


Fig.111- Schéma d'un tour vertical à deux montants.

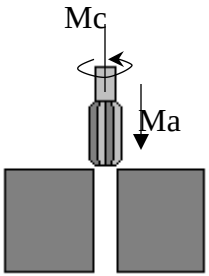




[Tournage (à partir de 2:00)]

Usinage : Alésage

- Alésage : mise au diamètre précis d'un trou déjà existant
- Les aléseuses :
  - Mc : rotation outil
  - Ma : linéaire pièce (outil)



- Genres
  - Horizontales
  - Verticales (à montant fixe ou mobile)
  - Multi-broches
- Caractéristiques :
  - Formes de révolution intérieures
  - Grande dimension
  - Très bonne tolérance dimensionnelle
  - Peut être utilisée en fraiseuse (aléseuse-fraiseuse)

Usinage : les aléseuses

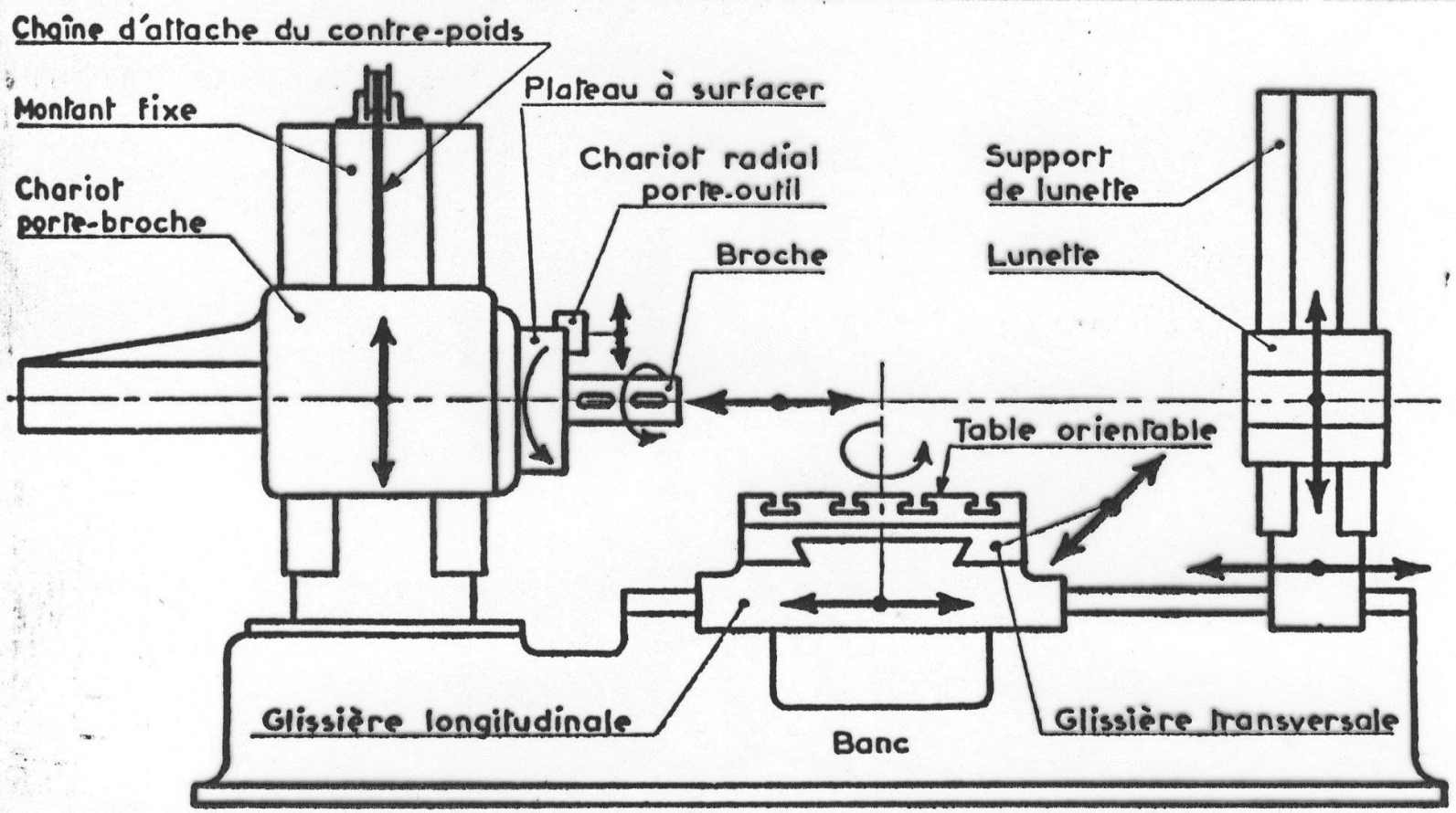
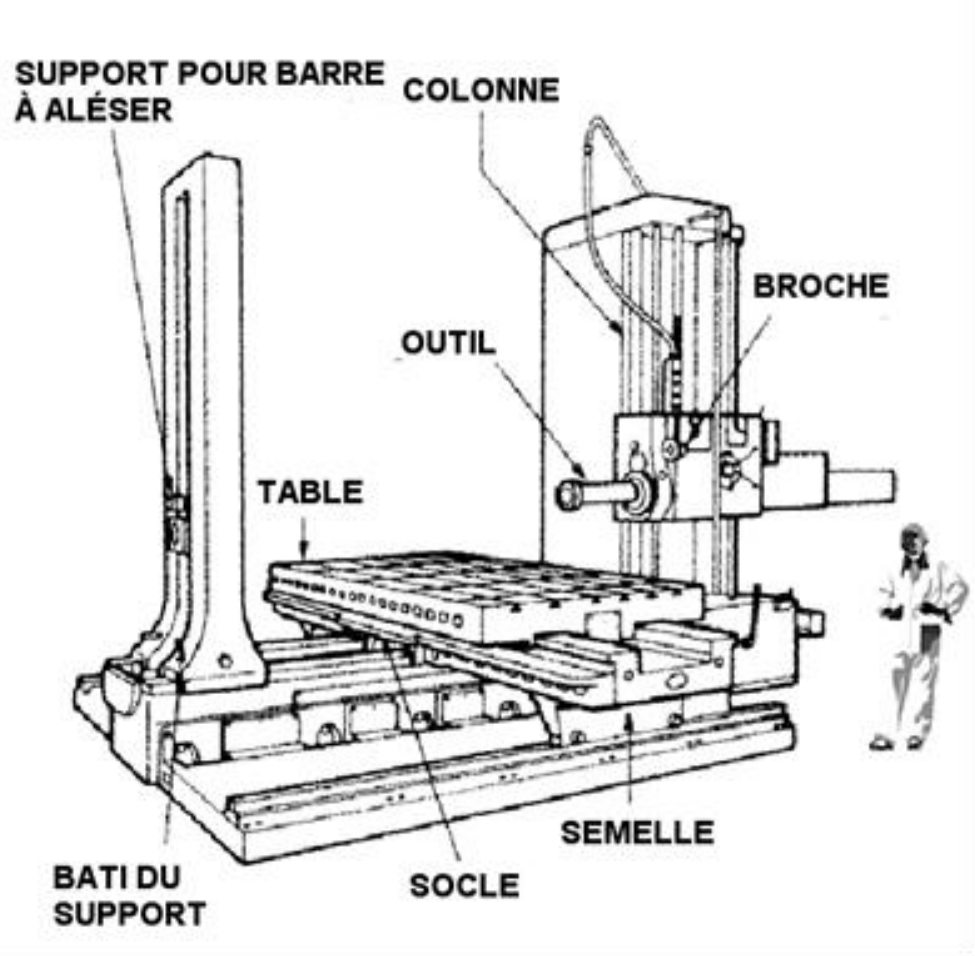


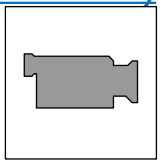
Fig:167- Schéma de principe d'une aléseuse-fraiseuse à montant fixe.

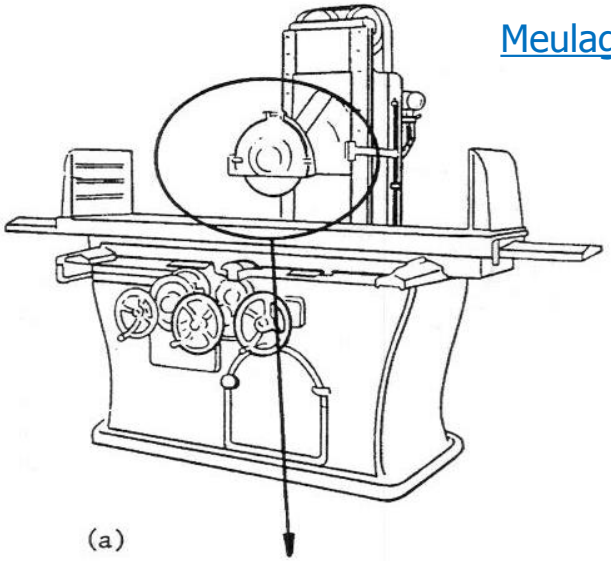
Usinage : les aléseuses

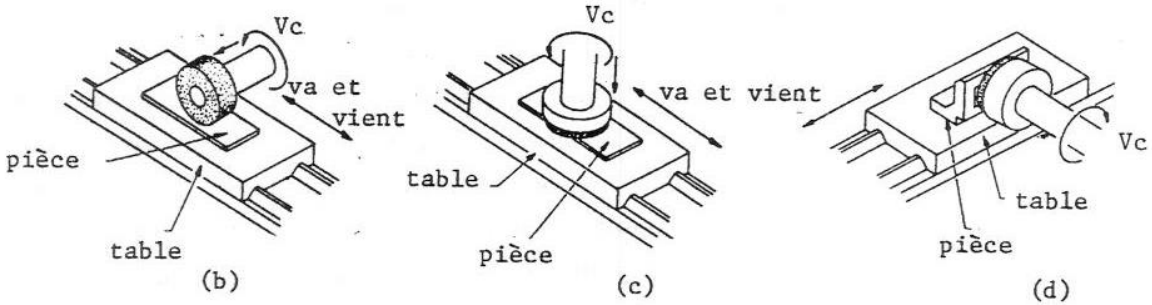


La rectification plane

Meulage (http://www.youtube.com/watch?v=9ZMWd4Xl2C8)



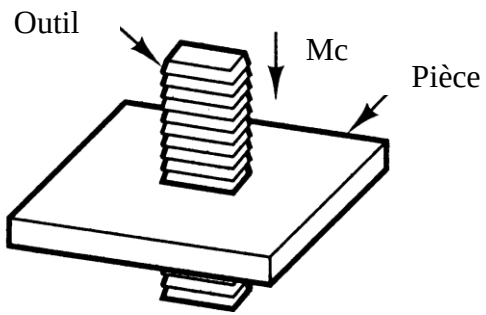




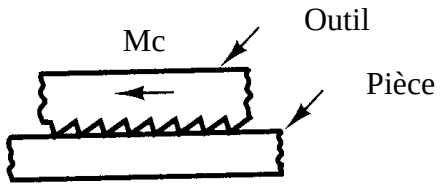
Usinage – Brochage

- Les brocheuses
  - Mc : Linéaire de l'outil
  - Ma : Aucun

Brochage intérieur



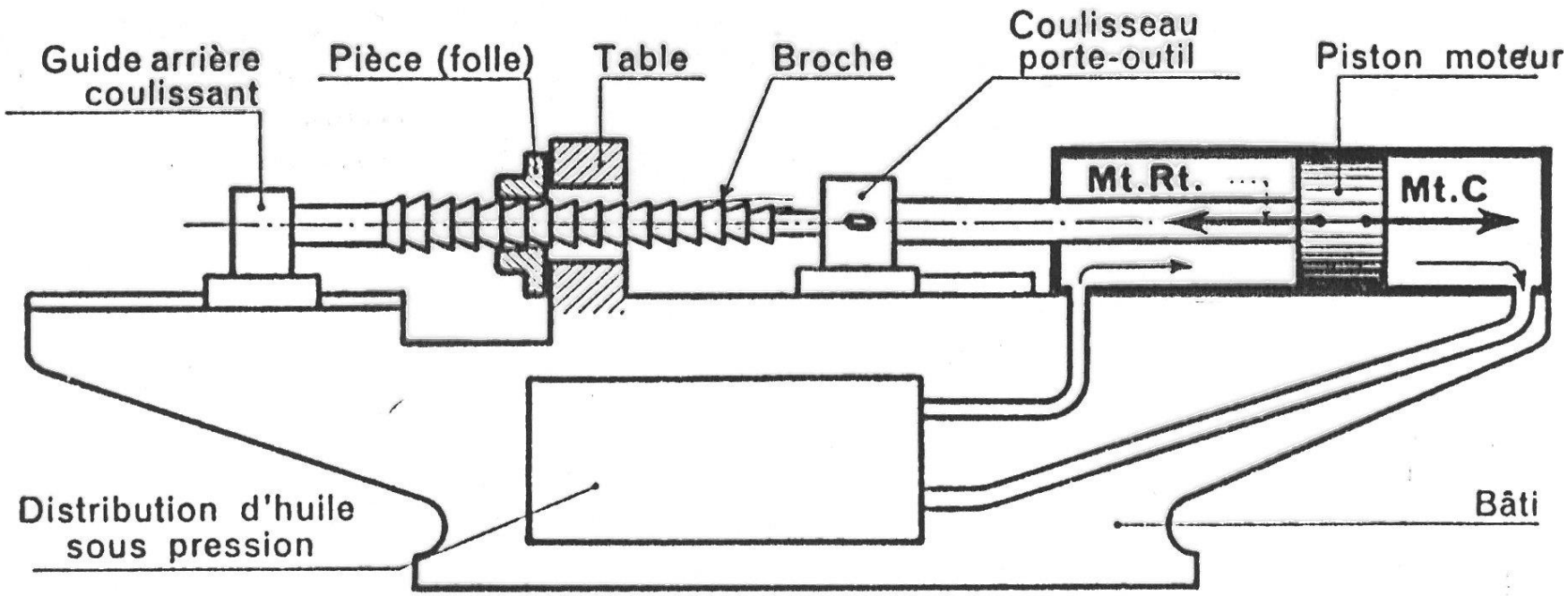
Brochage extérieur



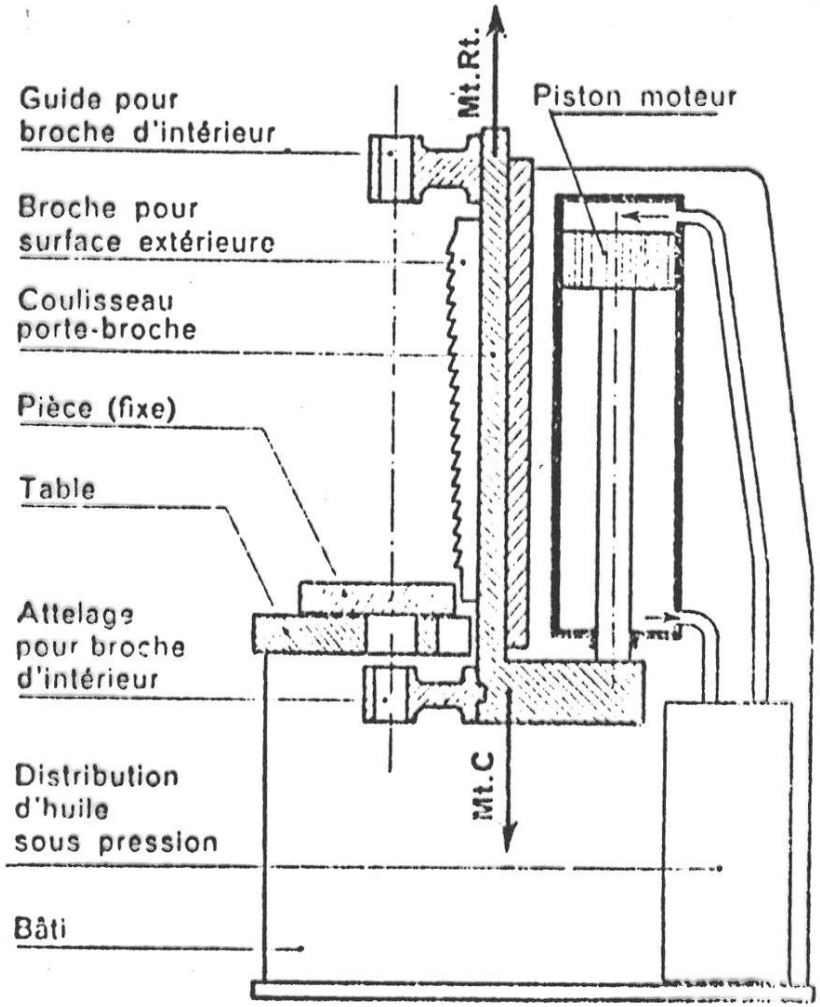
- Genres :
  - Verticales
  - Horizontales

- Caractéristiques :
  - Usinage ébauche-finition en une seule fois
  - Outil très cher, sauf lorsque la broche est standard (clavettes, etc)
  - Très bonne productivité
  - Pour grandes séries
  - Mouvement hydraulique
  - Bonne qualité
  - Machine simple

Usinage – les brocheuses



Usinage – les brocheuses verticales



Usinage – Broches

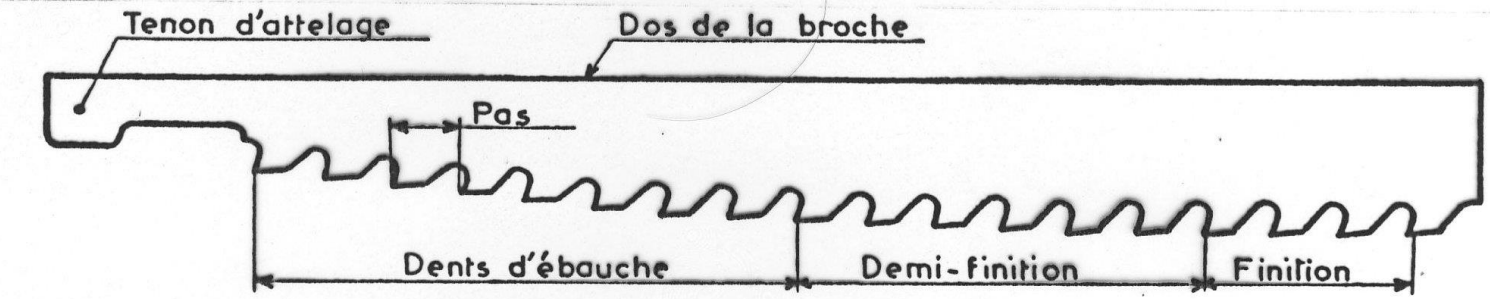


Fig:84– Disposition de la denture d'une broche.

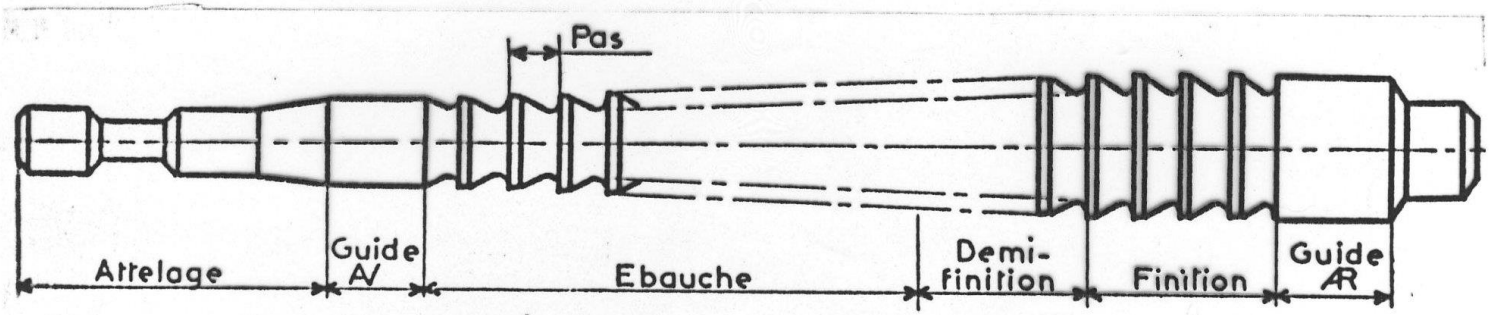
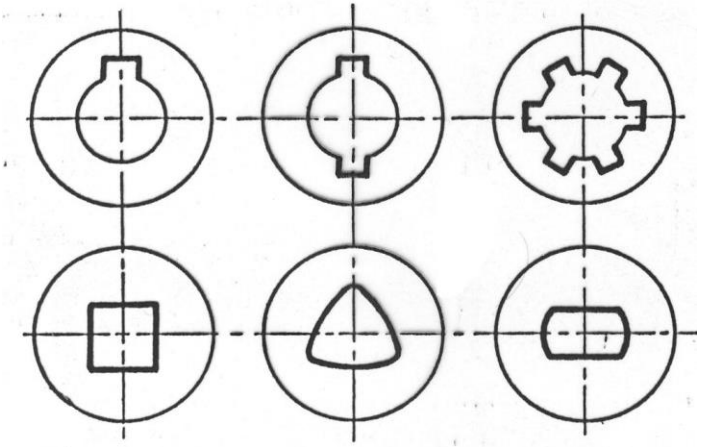
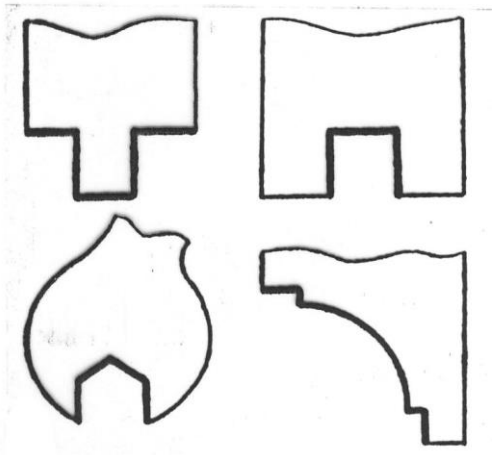


Fig:90– Broche en tirant pour brochage intérieur.

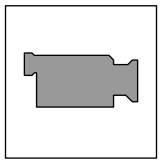
Usinage – Broches



Formes obtenues par brochage intérieur



Formes obtenues par brochage extérieur

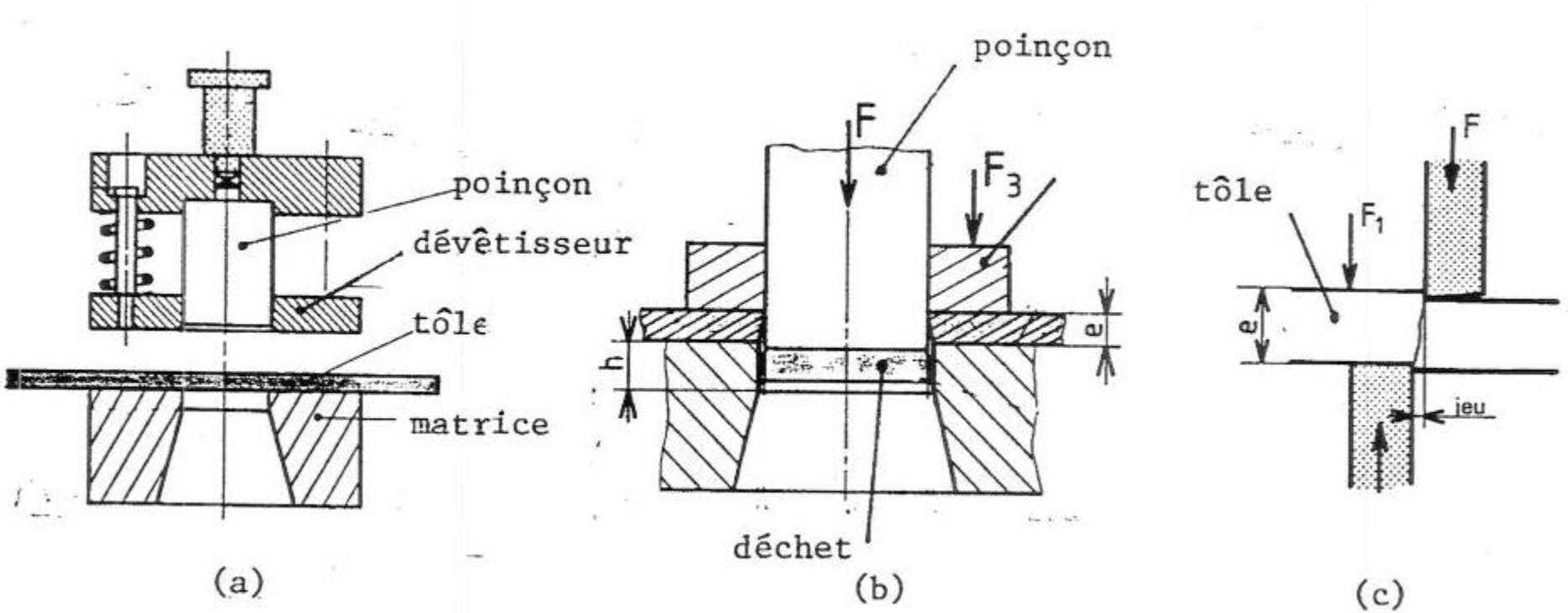


http://www.youtube.com/watch?v=ffPsFIxFUMs

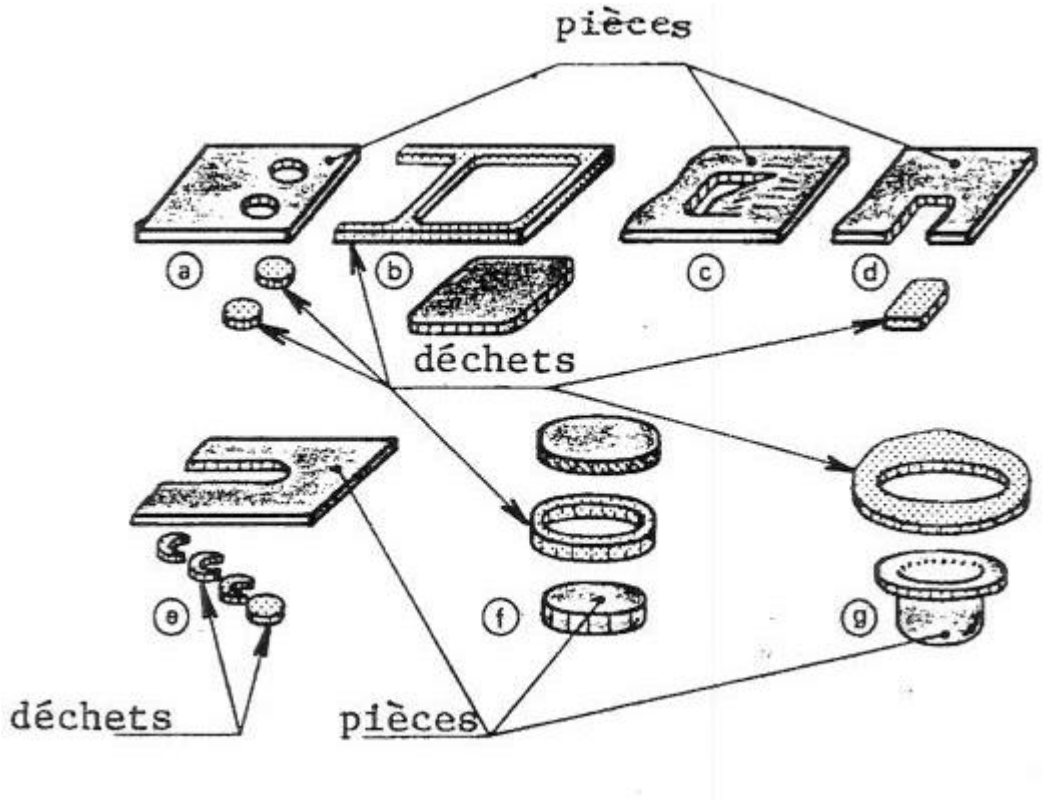
http://www.youtube.com/watch?v=ZRbOux9NfeU

Usinage : Découpage

- Découpage, poinçonnage :



Usinage : Découpage



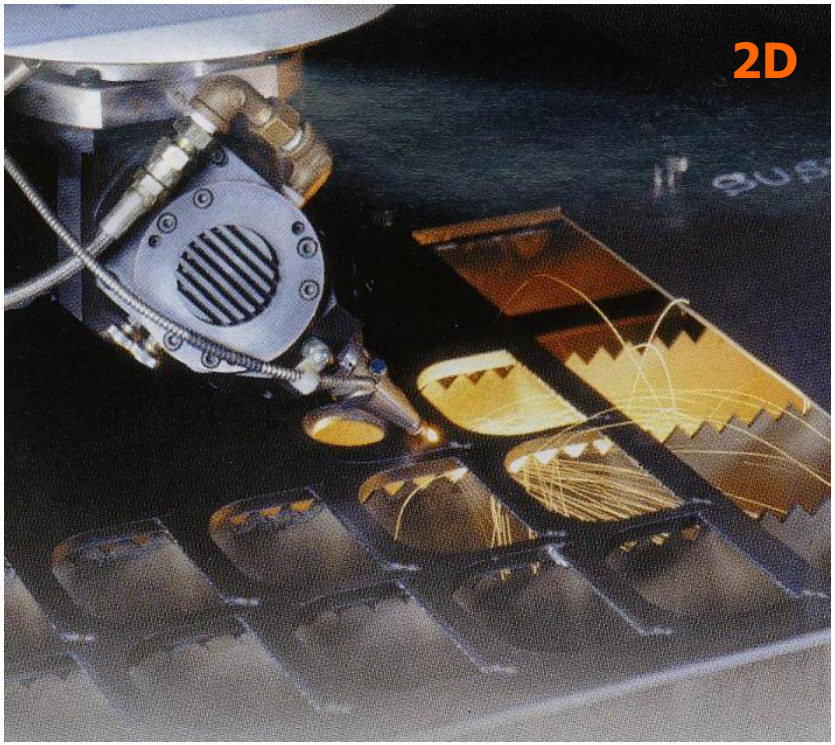
a) Poinçonnage
b) Découpage
c) Crevage
d) Encochage
e) Grignotage
f) Arasage
g) Détourage

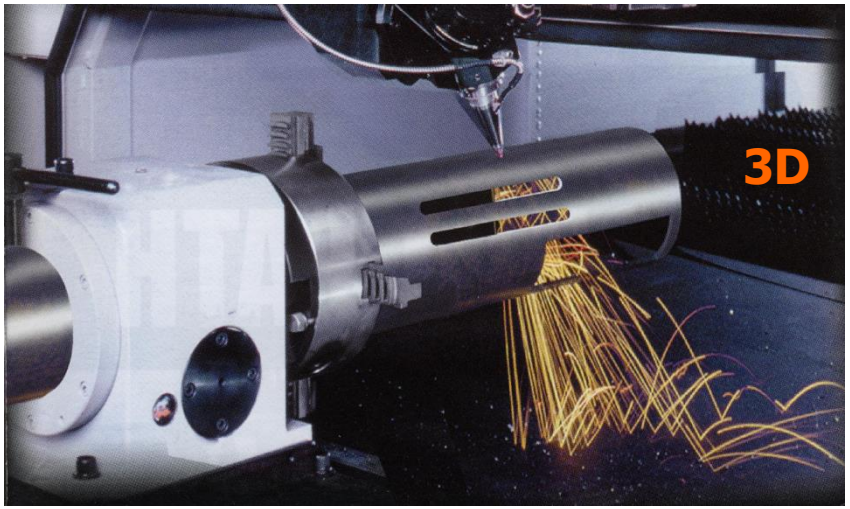
Presses et matrices (http://www.youtube.com/watch?v=q5Wlr6Co5SI)

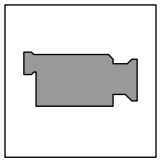
Poinçonneuse à contrôle numérique (http://www.youtube.com/watch?v=2YqaDdxiRYw)

Usinage : la découpe laser

- La découpe laser : laser avançant parallèlement à la surface usinée
- Genres : trajectoire laser 2D et 3D



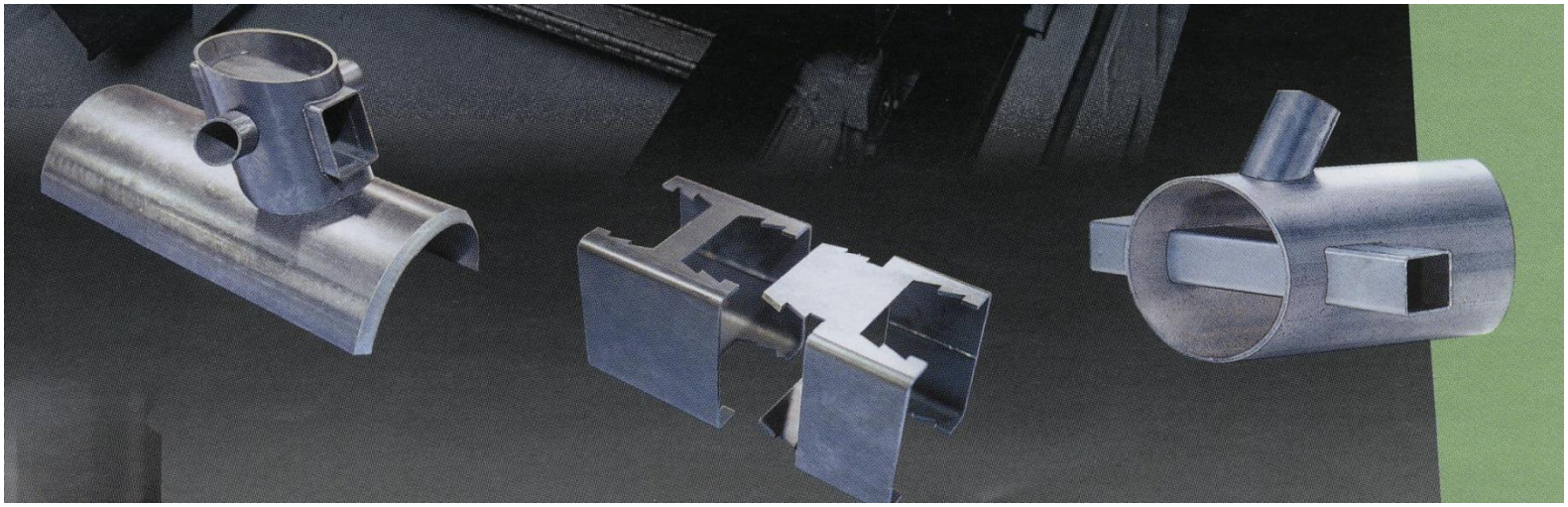




http://www.youtube.com/watch?v=UeGVbtrrHjE

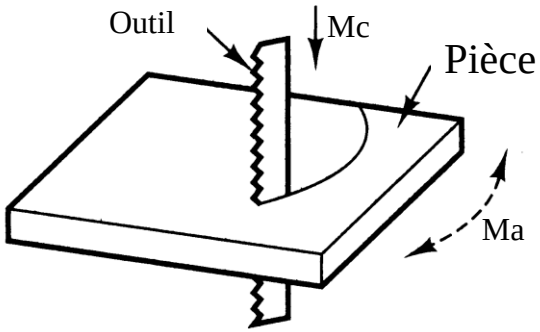
Usinage : la découpe laser

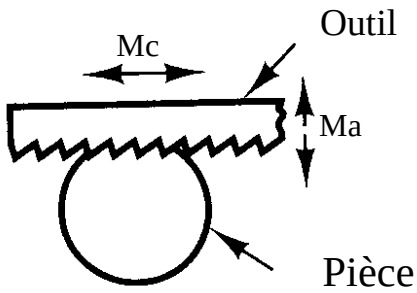
- Caractéristiques :
  - Très grande productivité : vitesse d'avance jusqu'à 15 m/min
  - Épaisseur de découpe jusqu'à 25 mm (puissance de 4 kW environ)
  - Pour tôles de très grande dimension
  - Découpe de tubes à section carré et cylindrique
  - IT de environ 0.2 mm pour une tôle mince



Usinage – Sciage

- Les scies
  - Mc : mouvement linéaire, rotation outil
  - Ma : mouvement linéaire, quelconque pièce/outil
- Genres
  - À ruban
  - Alternatives
  - Circulaires
- Caractéristiques
  - Machine simple, pas chère
  - Pour toutes surfaces réglées
  - Usinage intérieur → soudage ruban
  - Précision moyenne (qualité 10-20 ISO)





Usinage – les scies

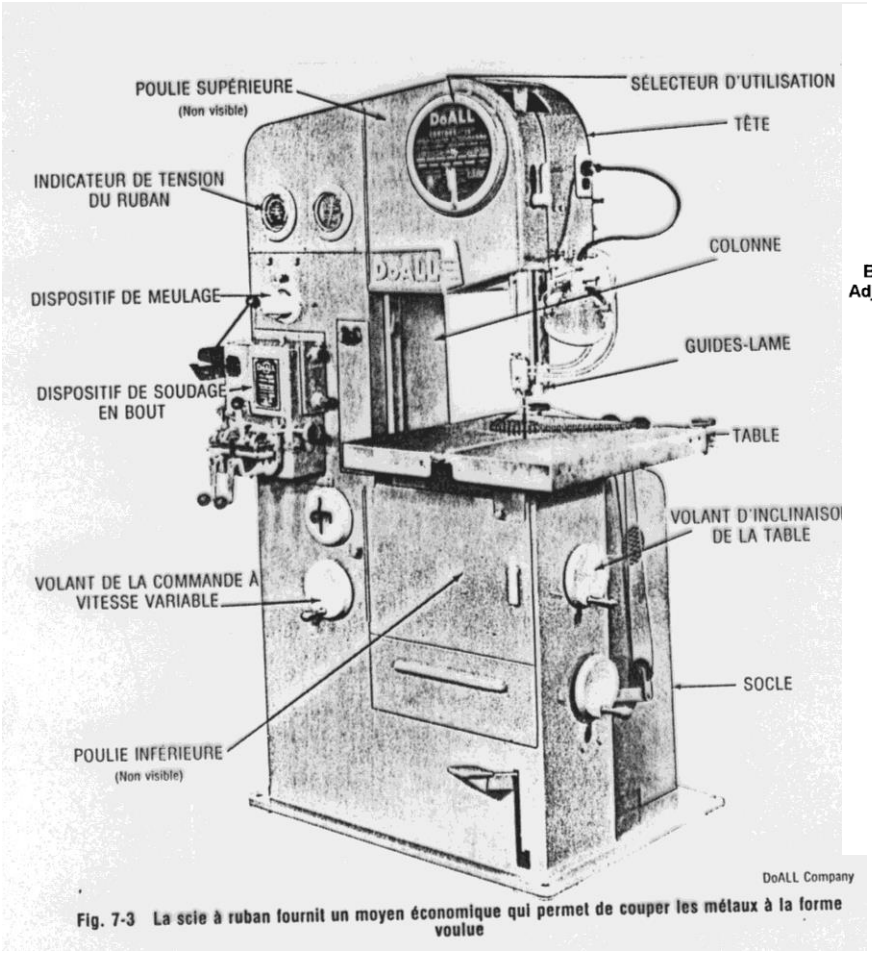
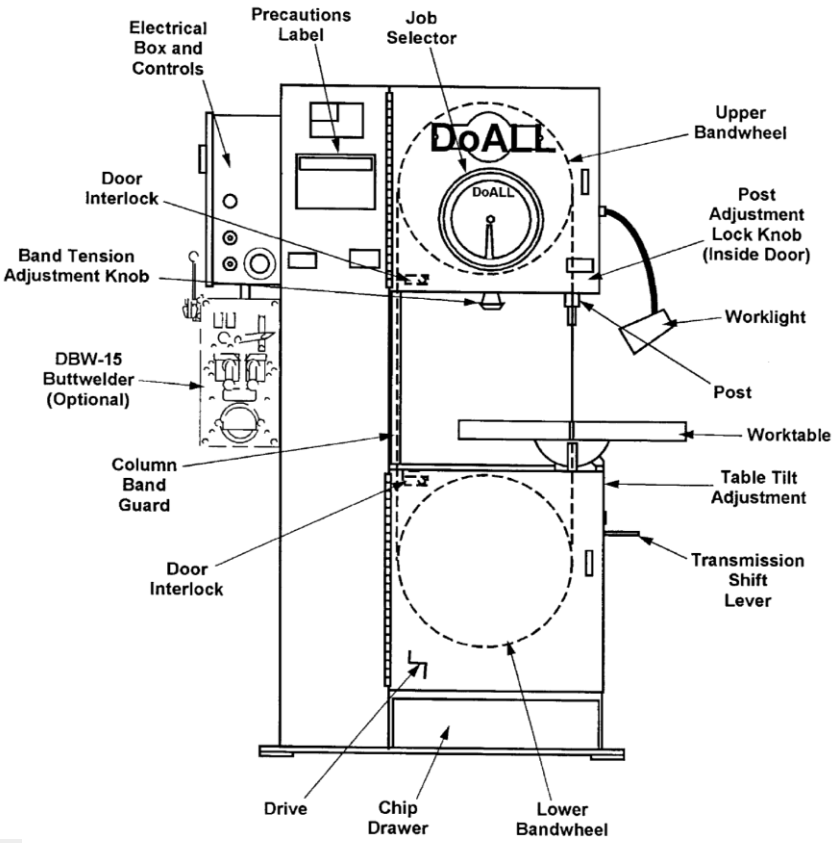
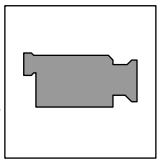


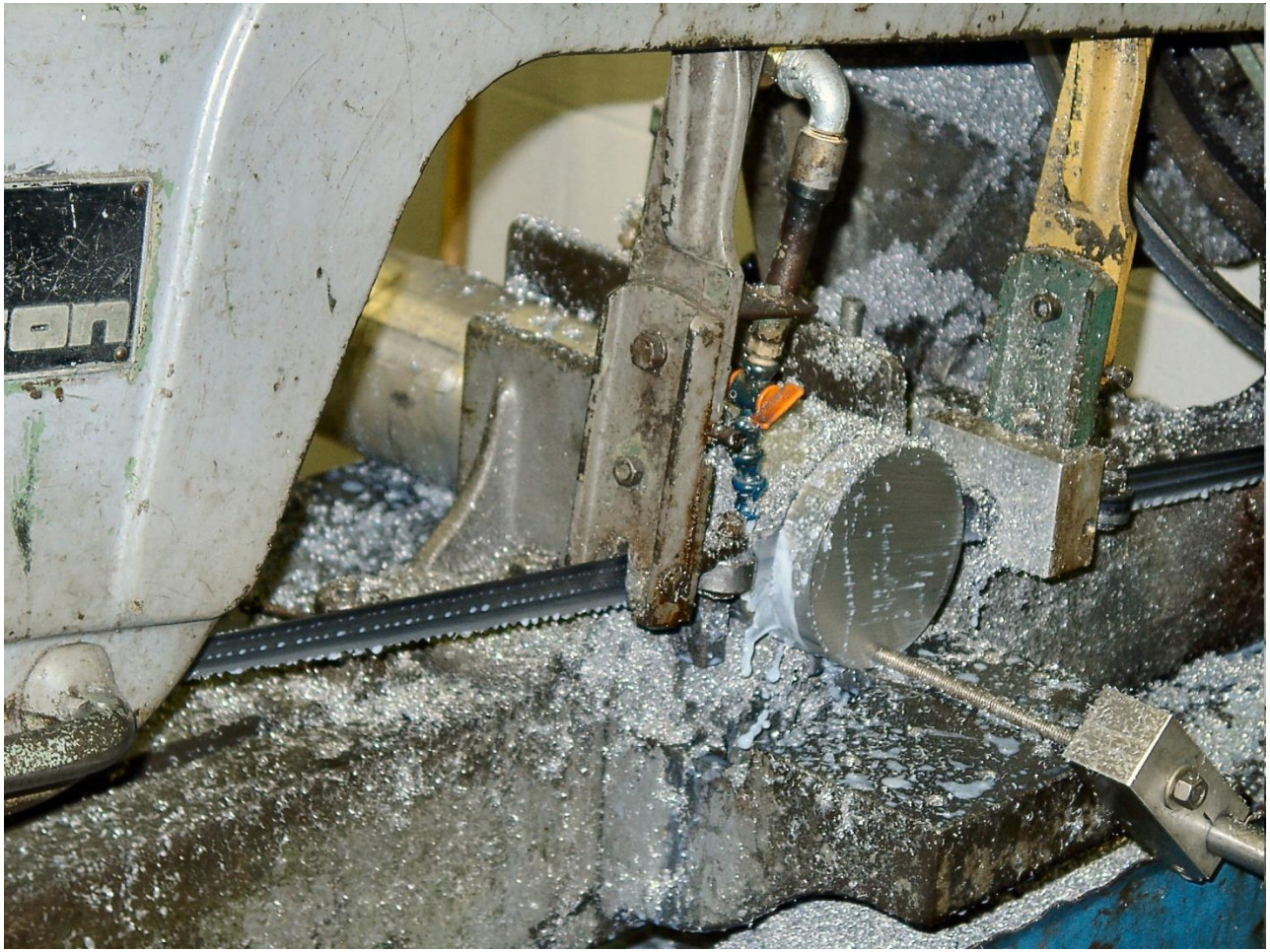
Fig. 7-3 La scie à ruban fournit un moyen économique qui permet de couper les métaux à la forme voulue



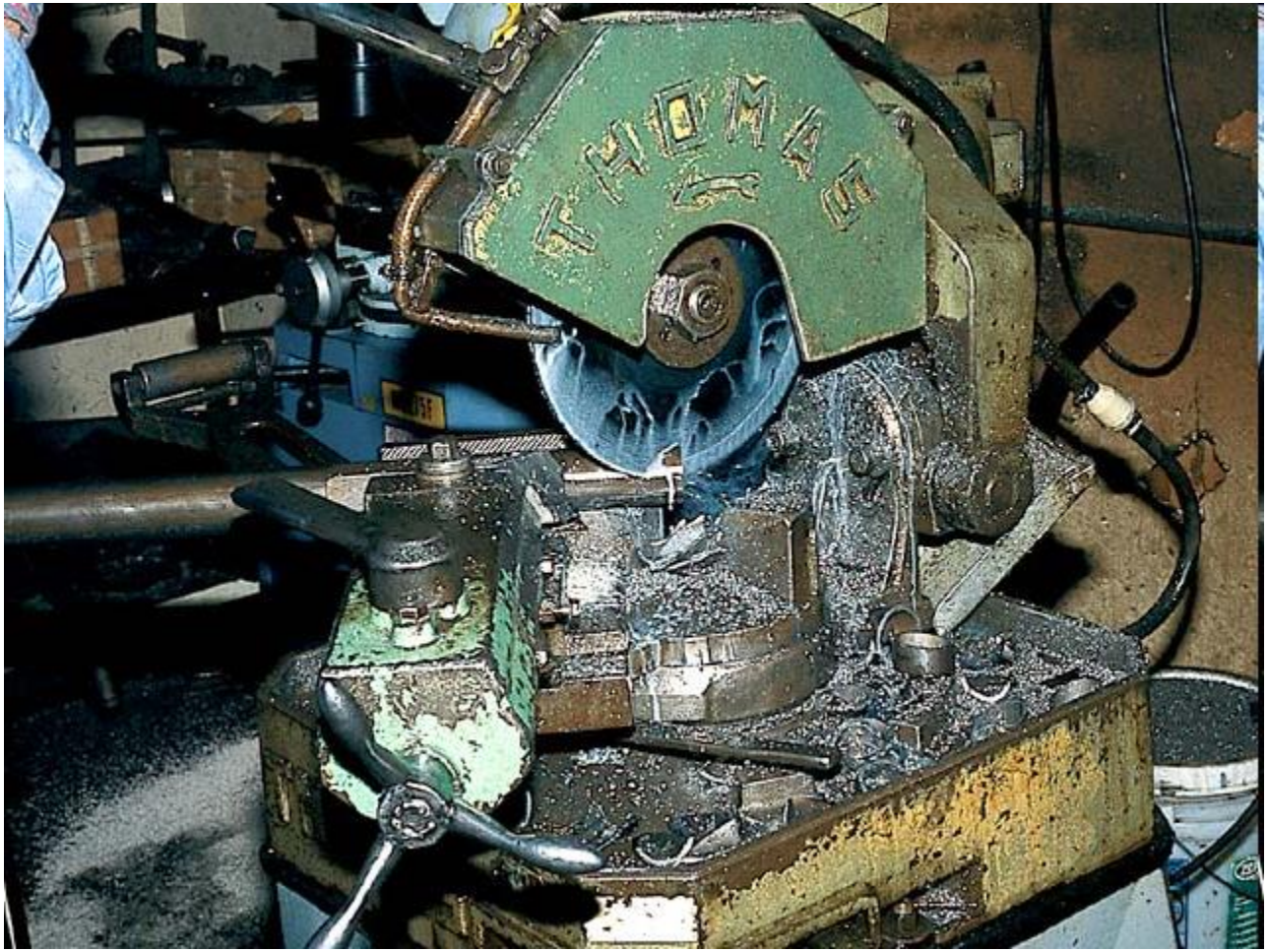
http://www2.cslaval.qc.ca/star/IMG/mov/843-h.mov
http://www.youtube.com/watch?v=dhmJfQPpPXc



Usinage – les scies



Usinage – les scies



Usinage non-traditionnel

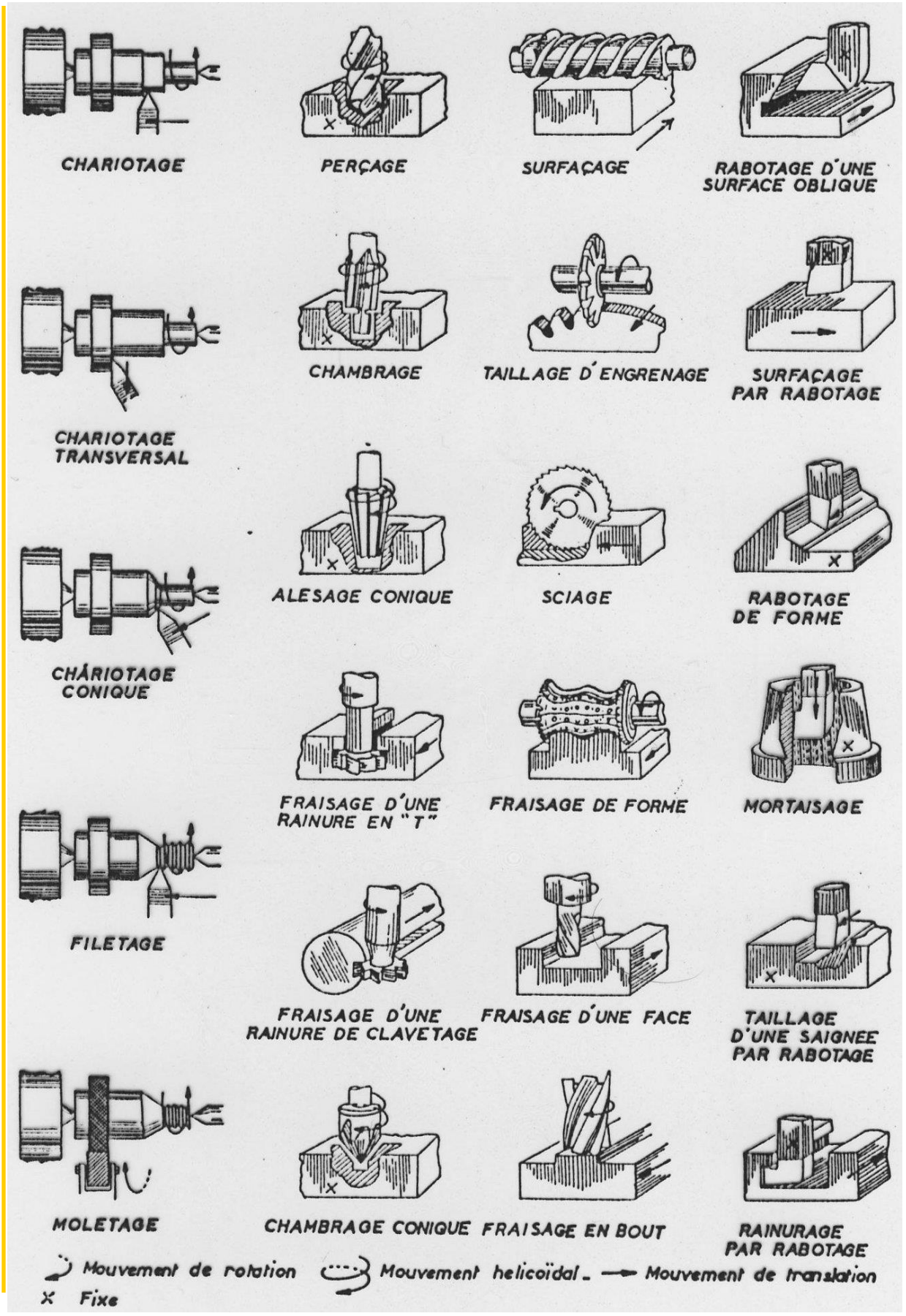
- Électro-érosion :
  - http://www.youtube.com/watch?v=q4FinKsDfww



http://t3.gstatic.com/images?q=tbn:ANd9GcRX_go2DOrdG4wLVecUtoT_4QDm_5gVcucXsdFTqzp6JoMGwXPi

Usinage

- Conclusion :
  - Grand nombre de types de M.O.
  - Pour un type donné, les caractéristiques suivantes sont variables:
    - Puissance
    - Vitesse de coupe, avance
    - Capacité dimensionnelle
    - Précision géométrique et dimensionnelle
    - Productivité
    - Coût d'achat
    - Coût d'exploitation
  - Le nombre de facteurs intervenant dans le choix d'une M.O. est très élevé


CHARIOTAGE
PERÇAGE
SURFAÇAGE
RABOTAGE D'UNE SURFACE OBLIQUE
CHAMBRAGE
TAILLAGE D'ENGRENAGE
SURFAÇAGE PAR RABOTAGE
CHARIOTAGE TRANSVERSAL
ALESAGE CONIQUE
SCIAGE
RABOTAGE DE FORME
CHARIOTAGE CONIQUE
FRAISAGE D'UNE RAINURE EN "T"
FRAISAGE DE FORME
MORTAISAGE
FILETAGE
FRAISAGE D'UNE RAINURE DE CLAVETAGE
FRAISAGE D'UNE FACE
TAILLAGE D'UNE SAIGNEE PAR RABOTAGE
MOLETAGE
CHAMBRAGE CONIQUE
FRAISAGE EN BOUT
RAINURAGE PAR RABOTAGE
Mouvement de rotation
Mouvement helicoïdal
Mouvement de translation
Fixe

- Vidéos en extra:
  - Usinage haute-vitesse
  - Machines outils intégrées